

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS Fundada en 1551**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**E.A.P. DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

# **Medición de profundidad de reservorios, ríos y lagos a través de telemetría para obtener la sección transversal**

TESIS para optar el Título Profesional de: INGENIERO ELECTRÓNICO

**AUTOR**

**MICHAEL ALEJANDRO DÍAZ ILLA**

**ASESOR** Ing. ALFREDO GRANADOS LY

**LIMA – PERÚ 2005**

---

# ÍNDICE

---

**Resumen**  
**Abstract**

**Página**

**CAPITULO 1**

**ASPECTOS GENERALES**

**1**

1.1.- INTRODUCCIÓN

1

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2

1.3.- OBJETIVOS

5

1.3.1 - OBJETIVOS GENERALES

5

1.3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

6

1.4.- HIPÓTESIS

6

1.5.- JUSTIFICACIÓN

6

1.6.- APORTES

7

1.7.- ANTECEDENTES

7

1.8 - DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

7

1.9 - DIAGRAMA DE BLOQUES

9

	<b>Página</b>
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>ONDAS DE SONIDO</b>	<b>11</b>
2.1 - SONIDO	11
2.2 - COMPORTAMIENTO FISICO DEL SONIDO EN EL AGUA	12
2.3 - LOS PRINCIPIOS DEL SONAR	14
2.4 - CLASES DE SONAR	15
2.5 - USOS DEL SONAR	17
2.6 - MEDIDA DE PROFUNDIDAD	18
2.7 - ECUACION DEL SONAR	19
2.7.1 - NIVEL DE LA FUENTE	20
2.7.2 - PÉRDIDA TOTAL DE PROPAGACIÓN	21
2.7.2.1 - MODELO EN FORMA DE ESPEJO	22
2.7.3 - NIVEL DE RUIDO DEL SISTEMA	24
2.7.4 - RECONOCIMIENTO DIFERENCIAL (NRD)	25
2.7.5 - PÉRDIDA POR INTERFERENCIA ACUSTICA (ND)	25
2.8 - TRANSDUCTOR	26
2.8.1 - TIPOS DE TRANSDUCTORES	26
2.8.2 - IMPORTANCIA DEL TRANSDUCTOR PIEZOELÉCTRICO	30
2.8.3 - MODELO DEL TRANSDUCTOR PIEZOELÉCTRICO	31

	<b>Página</b>
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD</b>	<b>34</b>
3.1.- SEÑAL DEL TRANSMISOR	37
3.2.- SEÑAL DEL RECEPTOR	38
3.3.- MEDICIÓN DEL TIEMPO DEL IMPULSO ULTRASÓNICO	42
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>EL MICROCONTROLADOR RFPIC12F675</b>	<b>50</b>
4.1- RFPIC12F675	50
4.1.1 - ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA	53
4.1.1.1 - MEMORIA DE PROGRAMA	53
4.1.1.2 - MEMORIA DE DATOS	53
4.1.1.3 - REGISTRO STATUS	55
4.1.1.4 - REGISTRO OSCAL	57
4.1.2 - EL PUERTO GPIO	57
4.1.2.1 - REGISTRO TRISIO	58
4.1.3 - TRANSMISOR UHF	58
4.1.3.1 - OPERACIÓN DEL TRANSMISOR	58
4.2- MODULACIÓN ASK	61
4.2.1 - MODULADOR ASK	63
4.2.2 - DEMODULADOR ASK	64
4.2.2.1 - DEMODULACIÓN DETECCIÓN ASINCRONA	64
4.2.2.2 - DEMODULACIÓN DETECCIÓN DE ENVOLVENTE	65
4.3- ANTENA DE LAZO	65
4.3.1 - CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE RADIACIÓN	66
4.3.2 - CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PÉRDIDA	66
4.3.3 - CÁLCULO DE LA INDUCTANCIA DEL LAZO	67
4.4- RFRXD0420	67
4.4.1 - DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO	69



	<b>Página</b>
<b>CAPITULO 5</b>	
<b>ETAPA DE CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR DE PROFUNDIDAD, TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN.</b>	<b>70</b>
5.1 - CIRCUITO DEL FISH FINDER	71
5.2 - CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR	76
5.3 - CRITERIO DE DISEÑO PARA LA CODIFICACIÓN	76
5.4 - PROGRAMA QUE CONVIERTE LA PROFUNDIDAD EN BITS	77
5.5 - CRITERIO DE DISEÑO PARA LA TRANSMISIÓN	81
5.6 - FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN	83
5.7 - MÓDULO DEL TRANSMISOR DEL RFPIC	83
5.8 - RECEPCIÓN DE LA SEÑAL CODIFICADA	86
5.9 - APLICACIÓN DEL RFRX0420 y MÓDULO DEL RECEPTOR RFRX0420	87
5.10 - REDUCCIÓN DE ERRORES Y ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL	92
5.11 - CRITERIO PARA LA DETECCIÓN DE LA SEÑAL DE SINCRONISMO	92
5.12 - PROGRAMA PARA REDUCIR LOS ERRORES Y ACONDICIONAR LA SEÑAL	92
5.13 - CIRCUITO PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE NIVELES RS232	96
<b>CAPITULO 6</b>	
<b>ETAPA DE CAPTURA, VISUALIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS</b>	<b>97</b>
6.1 - CAPTURA DE DATOS	97
6.2 - VISUALIZACIÓN Y GRÁFICA DE DATOS	98
6.3 - ALMACENAMIENTO DE DATOS	99
6.4 - PROGRAMA PARA LA MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD.	102
<b>CAPITULO 7</b>	
<b>PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES</b>	<b>104</b>
7.1- PRUEBAS DE CAMPO	104
7.2- CONCLUSIONES	117

## **ANEXOS**

Anexo 01: Hoja de trabajo para la planificación de la frecuencia en el receptor rfrxd0420.

Anexo 02: Características técnicas del Fish Finder.

Anexo 03: Detector de tonos.

Anexo 04: El estándar RS232.

Anexo 05: El control personalizado Microsoft Comm.

Anexo 06: Costo del equipo diseñado.

Anexo 07: Programas.

## **BIBLIOGRAFIA**

RESUMEN

---

**RESUMEN**

La Telemetría en la actualidad es aplicable tanto a las necesidades de la industria petrolera, gas y otras como para empresas de servicios públicos de electricidad, agua y seguridad, además de monitoreo de fallas de redes de ubicación remota.

Este trabajo presenta el estudio, diseño e implementación de un sistema de Telemetría Digital y el desarrollo de un software especial capaz de interpretar las señales vía radio, permitiendo conocer la información exacta sobre el evento que se sucede en el lugar de origen de la señal. Se utilizará como base los trabajos previamente realizados con el fin de hacer un aporte nuevo, para lo cual se hará uso de los microcontroladores RfPic como transmisores con sus respectivos receptores y también el uso de sensores de profundidad.

ABSTRACT

---

**ABSTRACT**

The Telemetry at the present time is applicable as much to the necessities of the oil industry and gas industry as well as others like companies of public services electricity, water and security, in addition to monitoring faults in networks of remote location.

This work presents the study, design and implementation of a digital telemetry system and the development of an special software capable to interpret the signals via radio which allows us to know the exact information about the event that happens in the birthplace of the sign. We will utilize, as base, the previously realized works to do a new contribution, using the new RfPic microcontrollers as transmitters with their respective receivers and also a depth sensor.

## CAPITULO 1

---

# ASPECTOS GENERALES

---

### 1.1.- INTRODUCCION

El Perú cuenta con tres grandes cuencas hidrográficas. La primera comprende alrededor de 50 ríos que nacen en la Sierra y descienden hacia la región de la Costa; la segunda comprende al río Amazonas y sus afluentes en la región de la Selva; y finalmente la tercera que comprende a la cuenca del lago Titicaca, que compartimos con Bolivia.

Es decir en nuestro país poseemos suficiente cantidad de ríos y lagos para aprovecharlos en diversas formas. A pesar de esto siempre sufrimos una drástica disminución de agua en épocas de sequía y problemas de inundaciones en las épocas de lluvias.

Actualmente los organismos encargados de contrarrestar estos problemas sufren diversos inconvenientes, como la de obtener el caudal en los ríos ó la profundidad en los lagos ya que en la mayoría de ellos se realiza dicha labor de manera artesanal. Para resolver estos problemas se ha creído conveniente diseñar un sistema de telemetría que nos permita obtener la profundidad en forma remota.

---

ASPECTOS GENERALES

---

La Telemetría es un conjunto de procedimientos para medir magnitudes físicas y químicas desde una posición distante al lugar donde se producen los fenómenos, más aun cuando existen limitaciones de acceso.

Los equipos de telemetría obtienen la información mediante transductores que transforman las magnitudes físicas o químicas a medir en señales eléctricas equivalentes, que son enviadas al punto de observación mediante ondas eléctricas para su procesamiento y análisis. Una de las principales aplicaciones de la telemetría es la meteorología. Los equipos instalados en sondas y globos meteorológicos permiten obtener medidas de las capas altas de la atmósfera y realizar mapas que ayudan a predecir el clima.

En las ciencias de la salud, y la medicina en particular, la telemetría ha tomado mayor auge porque la medición o registro de procesos y eventos electrocardiográficos es a distancia. Estos registros se recogen en un ordenador central ubicado en el control de enfermería que refleja continuamente el ECG (electrocardiograma) de todos los pacientes conectados a él mediante unos radiotransmisores inalámbricos que funcionan con baterías recargables.

Otras de las aplicaciones están en las industrias del Petróleo y Gas con la supervisión de gaseoductos y oleoductos, monitoreo y control remoto de transmisión de productos por redes de tuberías y también en los sistemas de distribución de agua. La Telemetría en la Minería y Manufactura es muy importante porque hay casos en los que se debe medir parámetros como nivel en sólidos y líquidos, la temperatura y presión en lugares inaccesibles para el operador.

La telemetría es dividida en cinco clases:

- ?? Telemetría mediante modulación por Ancho de Pulsos
- ?? Telemetría mediante modulación por Frecuencias de Pulso
- ?? Telemetría Multiplexada
- ?? Telemetría de Radio
- ?? Telemetría Digital

ASPECTOS GENERALES

---

La **Telemetría mediante Modulación por Ancho de Pulsos** es cuando un nivel de voltaje analógico procedente de un transductor que mide una variable física es convertido en pulsos, donde el ancho de los pulsos es proporcional a la variable medida. La ventaja es que la modulación por ancho de pulso tiene pocas probabilidades de ser afectada por el ruido eléctrico inyectado a lo largo de la trayectoria de transmisión, si la amplitud de los pulsos es reducida en la transmisión no importa ya que el receptor no está cuidando su amplitud, sino su ancho y tiempo de duración. El circuito que lleva a cabo la reconversión de la señal se llama demodulador por ancho de pulsos el cual reconvierte el ancho de pulso en un nivel de voltaje que sea proporcional a la variable medida de una manera bien definida. La modulación por ancho de pulsos es efectiva en la transmisión de información analógica sobre grandes distancias pero cuando la señal posee una frecuencia alta se prefiere usar la Modulación por Frecuencias de Pulso.

La **Telemetría por Modulación por Frecuencias de Pulso** es un método alternativo de la telemetría ya que una señal con un contenido alto en frecuencia tiene un tiempo de levantamiento del pulso bien significativo. Cuando el ruido es superpuesto en los pulsos transmitidos sensibles al tiempo de levantamiento, la etapa del amplificador en el demodulador puede reconstruir incorrectamente los pulsos. La modulación por frecuencias de pulsos cambia la frecuencia real (período) de los pulsos transmitidos.

La **Telemetría Multiplexada** se utiliza cuando la variable medida cambia con lentitud y podemos aprovechar en enviar otras variables. Para esto se utiliza un dispositivo de varias entradas pero de una sola salida llamada Multiplexor. En cualquier punto del tiempo, el multiplexor está pasando una de sus entradas a la salida y todas las demás entradas están bloqueadas. Luego de un tiempo el multiplexor puede conmutar a una entrada diferente.

Las tres clases de Telemetría que hemos visto anteriormente son de transmisión alámbrica ó mediante fibra óptica, pero para telemetría a distancias grandes se prefiere usar la **Telemetría de Radio** es decir irradiar las señales al medio ambiente electromagnético a través de una antena. La Telemetría de Radio permite enviar las señales cubriendo distancias de varios kilómetros y es muy usada en aplicaciones de industrias como la eléctrica, gas y sistemas de riego.

ASPECTOS GENERALES

---

La modulación por ancho de pulso y la modulación por frecuencia de pulso son fundamentalmente analógicas, es decir un solo pulso conduce el valor analógico de la variable medida. Lo bueno de la telemetría es que no solo esta restringida a métodos analógicos sino que también a usarse en un enfoque digital.

En la **Telemetría Digital** se requiere de varios pulsos para transmitir un valor de la variable medida, estos pulsos representan los bits de un número de codificación binaria el cual es aproximadamente al valor analógico medido. La principal ventaja de la codificación digital es la inmunidad al ruido frente a cualquiera de los demás métodos analógicos.

## 1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**SEDAPAL**, a través de su planta de tratamiento La Atarjea, represa el agua del río Rímac llenando dos embalses reguladores que tienen la función de almacenar agua para asegurar la continuidad de la producción de las plantas durante 15 horas, sin que se capte agua del río debido a que algunas épocas del año el agua viene demasiado turbia producto de huaycos, estos dos reservorios tienen en conjunto un área de  $270,000 m^2$ .

Las centrales hidroeléctricas también deben realizar embalses para mover sus grandes turbinas a través de la fuerza del agua y así poder generar electricidad. La acumulación de desperdicios es muy frecuente en reservorios ó embalses ya que el agua siempre tiene sedimentos, por lo tanto un reservorio ó embalse con desperdicios no tendría el mismo volumen.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –**SENAMHI** en su área de hidrografía necesita conocer el caudal de los ríos, para lo cual poseen una Estación Hidrométrica en cada río para hacer el análisis del aforo (conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado).



ASPECTOS GENERALES

---



*Figura 1.1- muestra como una persona mide la distancia y profundidad de un río para obtener la sección transversal, parámetro necesitado en la obtención del caudal.*

La profundidad en los lagos es muy importante ya que algunas empresas mineras necesitan conocer el nivel de sus aguas para así poder administrar el agua a sus minas.

Al conocer estos problemas de la acumulación de desperdicios en los reservorios, los problemas en las estaciones Hidrométricas, la medición de niveles de agua en los lagos y los altos costos de los equipos que venden las empresas transnacionales para medir profundidad, la solución viable sería el diseño de un sistema que permita medir la profundidad con ayuda de la Telemetría. Por lo cual el desarrollo, producto de este trabajo de investigación, pretende lograr que el costo por equipo de medición esté por debajo del precio de los equipos comerciales y que sea simple de manejar tan solo por un operario.

### **1.3.- OBJETIVOS**

#### **1.3.1 - OBJETIVOS GENERALES**

El presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar un Sistema de Telemetría Digital que nos permita medir la profundidad de reservorios, ríos o lagos obteniendo su sección transversal.

ASPECTOS GENERALES

---

**1.3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos del presente trabajo son:

1. Estudio y aplicación de sensores de profundidad.
2. Usar microcontroladores que tengan transmisores integrados con el propósito de reducir espacio y costos.
3. Aplicar la modulación digital ASK para la transmisión y recepción de datos.
4. Diseñar una aplicación que permita visualizar los parámetros medidos.
5. Aportar al desarrollo tecnológico de nuestro país, entregando nuestros conocimientos y esperando que el trabajo realizado pueda ser empleado comercialmente.

Además, con el uso y puesta a prueba de este equipo de Telemetría se quiere responder las siguientes preguntas:

1. ¿Es factible en el Perú diseñar y construir equipos de Telemetría para las empresas y entidades del estado para medir profundidad en reservorios, ríos y lagos?
2. ¿Es preferible importar estos equipos ó construirlos en el país?
3. ¿Es posible generar fuentes de trabajo en campos relacionados a la Telemetría?

**1.4.- HIPÓTESIS**

El diseño de un sistema de telemetría digital permitirá a empresas y entidades del estado peruano medir la profundidad de reservorios, ríos o lagos para poder obtener la sección transversal de manera remota.

**1.5.- JUSTIFICACIÓN**

La profundidad es un parámetro muy importante que se necesita en una Estación Hidrométrica para hacer el análisis del aforo. El cálculo de la profundidad también se aplica para conocer el aumento de acumulación de desperdicios en los reservorios, ríos y lagos, con estos datos la institución encargada puede prevenir inundaciones,

ASPECTOS GENERALES

---

realizar embalses y canales para obtener energía, regadío y también para el consumo de agua potable.

**1.6.- APORTES**

Desarrollo de tecnología en el campo de la Telemetría, que permitirá generar otras líneas de investigación y desarrollo, como por ejemplo la medición de otros parámetros como la velocidad y temperatura en ríos o lagos con aporte en la hidrografía y en la pesca.

Reducir costos ya que el sistema planteado tiene un precio por debajo de los sistemas actuales, permitiendo a las instituciones nacionales como Sedapal y Senamhi, utilizar tecnología avanzada. La aplicación de este sistema también evita poner en riesgo la vida de las personas que de manera rudimentaria realizan la medición de la profundidad, ya que se puede controlar de manera remota mientras se transmite la información a la computadora que está en la orilla.

**1.7.- ANTECEDENTES**

- ?? El trabajo de Ruan Lourens, Microchip Technology Inc.( Tire Pressure Monitoring (TPM) System) en el cual hace uso de los microcontroladores RfPIC.
- ?? El trabajo sobre análisis de aforo de la Estación Hidrométrica Obrajillo, período 2000-2001 del Ing. Vera Hernández, Luis Edilberto, Senamhi el cual nos da una definición y sistemas de medición en hidrología.
- ?? La Empresa Son Tek líder mundial en medidas de velocidad para aguas, tiene un dispositivo que mide velocidad y profundidad utiliza el ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler).

**1.8 - DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

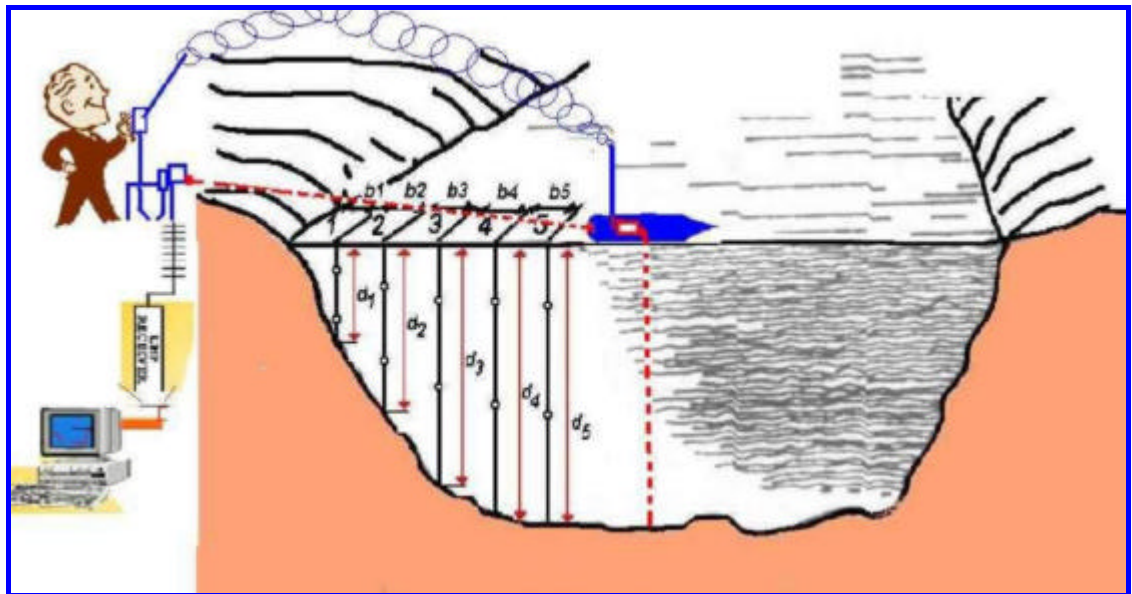
La forma tradicional de obtener la sección transversal de un río es dividiendo al río en partes iguales ( $b_1=b_2=b_3=...b_n$ ), luego se mide la profundidad ( $d_1,d_2,d_3...d_n$ )

## ASPECTOS GENERALES

con una barreta a cada distancia  $b(i)$  y por último se obtiene la sección transversal a través de la siguiente formula:

$$\sum_{i=0}^n b_i \cdot d_i \quad (1)$$

Algo similar se hace para medir la profundidad en los reservorios y lagos, pero si nosotros tuviéramos una nave a radio control (barquito) que tenga un sensor de profundidad (Sonar) y haríamos que atravesase de lado a lado al reservorio, río o lago, podríamos graficar la sección transversal en tiempo real y de forma más precisa.



*Figura 1.2- muestra como se obtendría la sección transversal, utilizando nuestro Sistema de Telemetría Digital.*

## 1.9 - DIAGRAMA DE BLOQUES

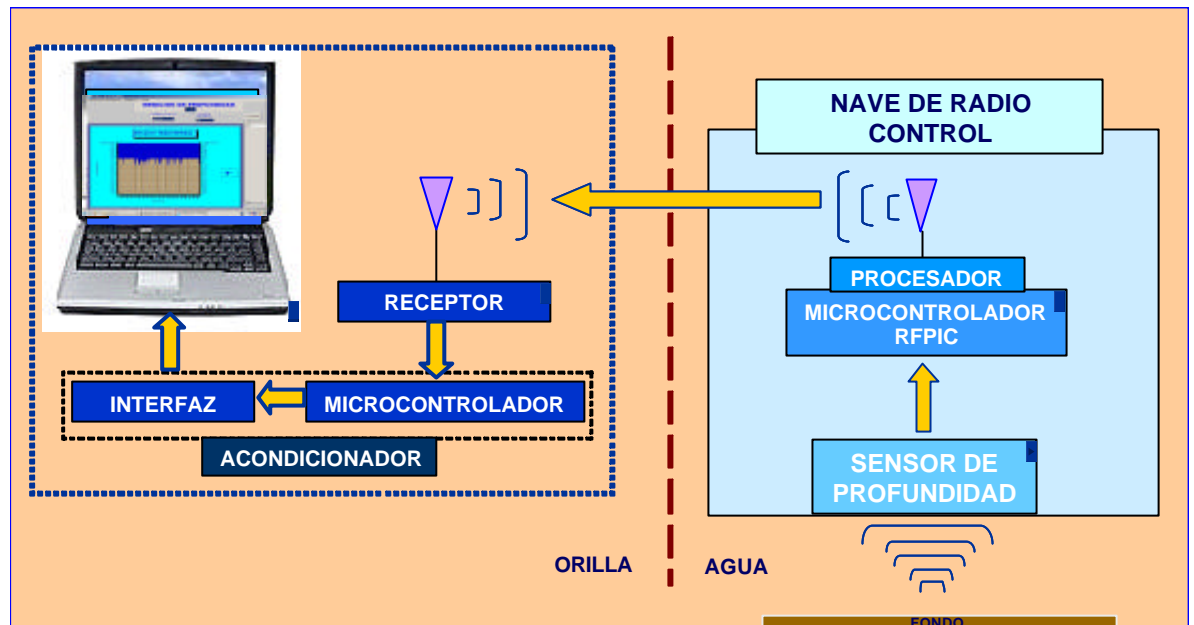


Figura 1.3- Diagrama de Bloques del Sistema.

Este diagrama explica el funcionamiento de todo el sistema, que consiste de un dispositivo electrónico (nave de radio control) que tendrá un sensor de profundidad (Sonar) y un microcontrolador con transmisor integrado (RFPIC) con su respectiva antena, el sensor de profundidad envía una señal eléctrica a su transductor para que esta energía eléctrica sea convertida en un pulso ultrasónico el cual es enviado al fondo del reservorio, río o lago. Este pulso ultrasónico cuando choca en el fondo regresa en forma de eco. El transductor toma el eco y lo envía al sensor de profundidad en forma de energía eléctrica.

El microcontrolador toma las señales de transmisión y recepción del sensor de profundidad para medir el tiempo que demora en ir y venir el pulso ultrasónico, este tiempo nos indica la profundidad. El microcontrolador expresa este tiempo en bits por lo tanto la profundidad también estará en bits. Estos bits son enviados al transmisor para ser modulados y luego llevados a la antena para ser enviados por radiofrecuencia al receptor que está en la orilla.

#### ASPECTOS GENERALES

---

El receptor recibe la señal de radiofrecuencia que contiene la profundidad en bits para enviarlos al segundo microcontrolador. Este microcontrolador actúa como minimizador de errores y acondicionamiento de los bits antes de ser enviados a la PC. El envío de bits a la computadora se hace con el estándar RS232. Estos datos son tomados del puerto serial por nuestro programa en Visual Basic. El programa toma el dato y grafica la profundidad, almacenando este valor en una base de datos. El número de datos se configura en el programa y son recuperables gracias a que los datos se almacenan en el programa Microsoft Access.

## CAPITULO 2

---

# ONDAS DE SONIDO

---

### 2.1- SONIDO

El sonido es un fenómeno físico que estimula el sentido del oído. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 16 y 20.000 hercios llega al oído interno. El hercio (Hz) es una unidad de frecuencia que corresponde a un ciclo por segundo. Estas vibraciones llegan al oído interno transmitidas a través del aire, y a veces se restringe el término sonido a la transmisión en este medio. Sin embargo, los físicos modernos suelen extender el término a vibraciones similares en medios líquidos o sólidos. Los sonidos con frecuencias superiores a unos 20.000 Hz se denominan ultrasonidos.

Ondas sónicas	<i>Infrasónicas</i>	$f < 16 \text{ Hz}$
	<i>Audibles</i>	$16 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$
	<i>Ultrasónicas</i>	$f > 20 \text{ kHz}$

En general, las ondas de sonido son un tipo de onda mecánica el cual se propaga en forma longitudinal. Una onda de sonido es una serie de compresiones y enrarecimientos sucesivos del aire, cada molécula individual transmite la energía a las

moléculas vecinas, pero una vez que pasa la onda de sonido, las moléculas permanecen más o menos en la misma posición es decir permanecen en su posición inicial.

## **2.2- COMPORTAMIENTO FISICO DEL SONIDO EN EL AGUA**

Para todos es claro que cuando uno se sumerge en el agua de un océano o lago puede escuchar sonidos de ondas ya sea de las olas, embarcaciones y botes o de los simples bañistas de una playa a distancias considerables. Las ondas de sonido son más veloces en el agua que en el aire, podemos citar como un ejemplo la comunicación entre los delfines y ballenas. Los dispositivos que usan el sonido en el agua para realizar aplicaciones se llaman Sonares. Para entender el funcionamiento del Sonar primero debemos entender el comportamiento del sonido en el agua.

El sonido viaja en el agua a través del movimiento de presiones (comprensión de ondas), dichas presiones varían con la velocidad del sonido que típicamente es 1500 m/s el cual está en función de la salinidad, presión y temperatura). La distancia física entre las presiones en el viaje de una onda sonora es su longitud de onda que es medido en metros. El número de presiones que pasan por un punto inmóvil en el agua por unidad de tiempo es la frecuencia de la onda medido en ciclos por segundo ( Hz), y es relacionado con la velocidad de sonido, que es medido en metros por segundo (m/s):

$$\text{Velocidad del sonido} = \text{Frecuencia} \times \text{Longitud de Onda} \quad (2)$$

Cuando la onda de sonido encuentra un cambio en su velocidad también cambia la longitud de onda pero la frecuencia sigue igual, por esta razón es que las ondas de sonido son generalmente descritas en términos de su frecuencia. Una onda de sonido lleva cierta cantidad de energía acústica, esta energía puede ser medida por un dispositivo llamado hidrófono el cual mide las oscilaciones de las presiones que pasan en una onda de sonido. El tamaño de esta oscilación se llama Amplitud de la onda el cual esta relacionada con la energía acústica que existe en la onda transmitida.

$$\text{Energía de la onda de Sonido(Pot encia)} \propto \text{Amplitud}^2 \quad (3)$$



## ONDAS DE SONIDO

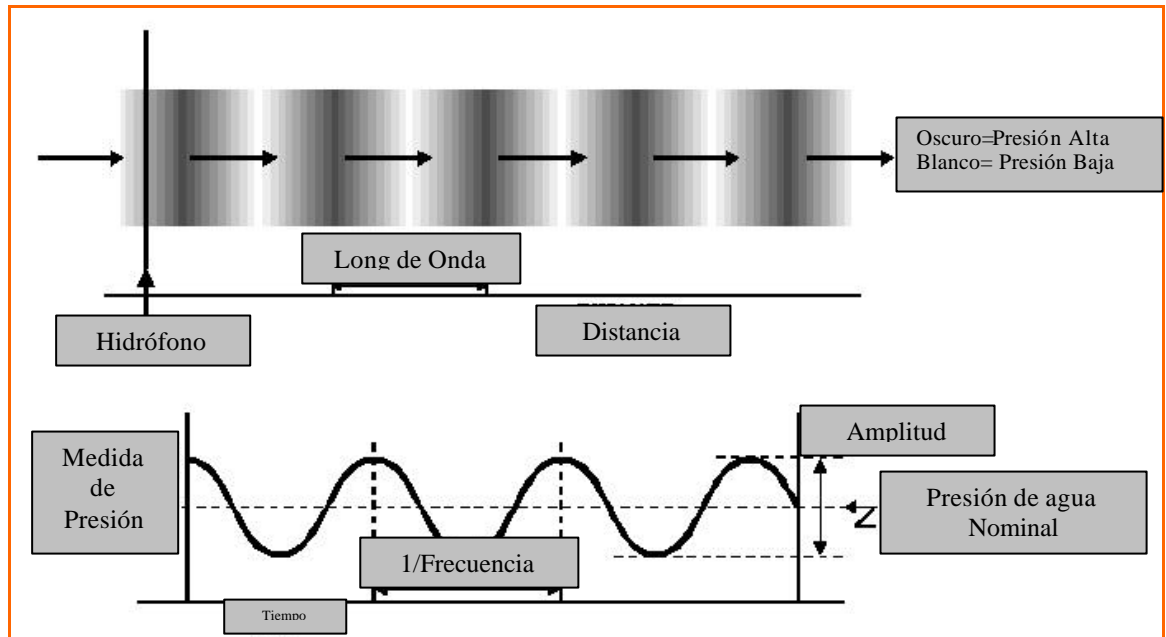


Figura 2.1- muestra el comportamiento del sonido en el agua, el sonido viaja a través de movimiento de presiones.

Cuando la onda de sonido se propaga pierde energía debido a las diferencias de presiones entre las moléculas en el agua por que no son 100% eficientes como por ejemplo en forma de calor. La energía que se pierde por propagación se llama atenuación, cuando la onda de sonido se atenúa la amplitud disminuye. Las ondas de luz y electromagnéticas pierden toda su energía cuando penetran solo pocos metros en el agua. El nivel de Atenuación depende de la frecuencia:

Atenuación á frecuencia

Mientras la energía acústica viaja por el agua puede ser interrumpida por un repentino cambio en el medio como por ejemplo rocas o arena. Cuando el movimiento del sonido encuentra otro medio, una fracción de esta energía se propaga en el nuevo material, dicha energía depende de muchos factores tales como la Impedancia del nuevo material (densidad del material x Velocidad), el ángulo de incidencia del impacto del pulso (el ángulo que incide en el nuevo medio) y la aspereza de la superficie del nuevo medio. La energía que no es transmitida en el nuevo material debe regresar al medio original ( $H_2O$ ), alguna cantidad de esta energía es reflejada en la superficie del material en forma de rebotes en direcciones que dependen del ángulo de incidencia, el resto es dispersado en todas las direcciones. La energía que retorna del agua es

llamada ECO, este eco mantiene las características de la frecuencia de la fuente de la onda de sonido.

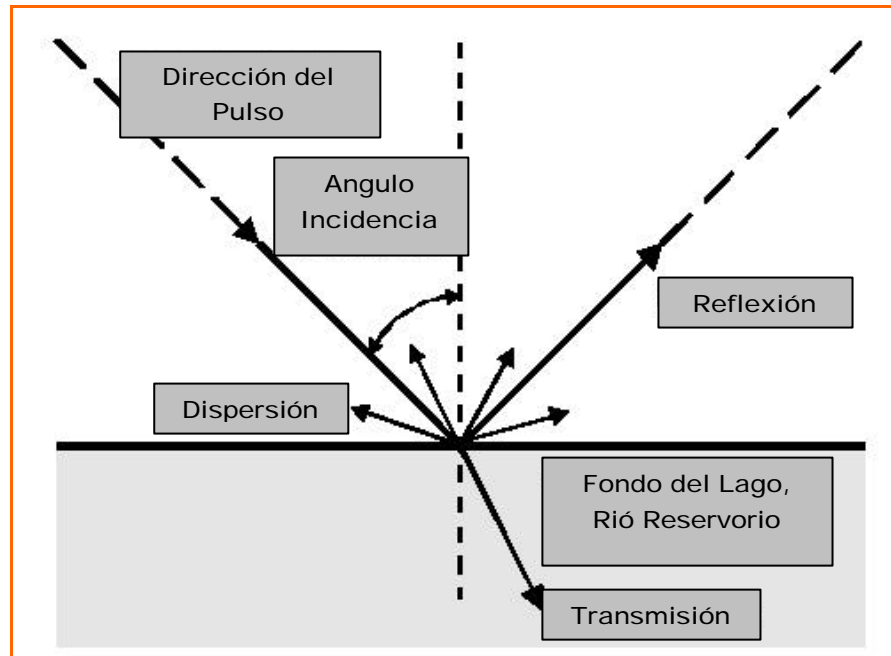


Figura 2.2- muestra la interrupción en el viaje del sonido por el fondo.

### 2.3- LOS PRINCIPIOS DEL SONAR

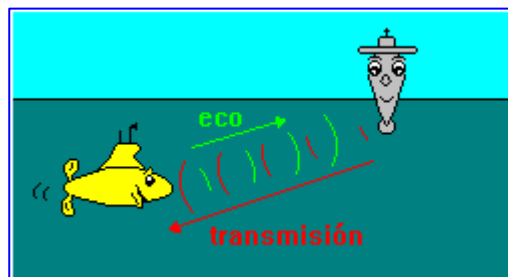
La palabra SONAR es el acrónimo inglés de SOund NAVigation and Ranging y por ella se entiende el método y/o el equipo necesario para determinar por medio del sonido la presencia, localización ó naturaleza de objetos en el agua. Para completar esta definición, es preciso incluir además las comunicaciones, así los sistemas SONAR son las instalaciones que utilizan la energía acústica a través del mar para actividades de observación y/o comunicación. Hoy en día por extensión, se aplica la palabra SONAR a la parte de la acústica aplicada que abarca todas las actividades en las que el agua es el medio de propagación del sonido.

El Sonar emplea distintos transductores para su funcionamiento. Un transductor es cualquier dispositivo capaz de convertir un tipo de energía en otra. Los transductores empleados en acústica convierten energía eléctrica en acústica e inversamente.

## 2.4- CLASES DE SONAR

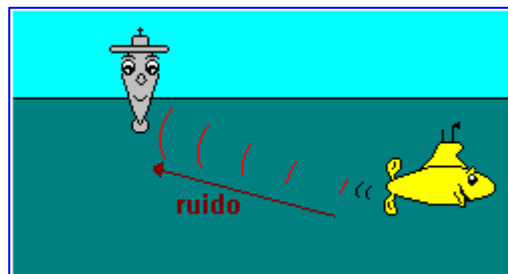
Se llama SONAR ACTIVO al equipo que basa su funcionamiento en la detección del eco devuelto por un objeto sumergido al incidir sobre él un tren de ondas acústicas emitidas por un proyector.

El SONAR ACTIVO es por tanto similar al RADAR. Empleando el SONAR ACTIVO se emite un tren de ondas acústicas con una determinada potencia al agua. Un objeto sumergido sobre el que incidan estas ondas, reflejará parte de ellas que volverán hacia el foco emisor. La energía recibida proveniente del objeto es solo una muy pequeña parte de la que se emitió y el camino que recorren las ondas es el doble de la distancia entre el emisor y el objeto.



*Figura 2.3- muestra el funcionamiento del Sonar activo.*

Por el contrario, el SONAR PASIVO se limita a escuchar el sonido que proviene de los objetos que se encuentran sumergidos.



*Figura 2.4- muestra el funcionamiento del Sonar pasivo.*

Estos dispositivos reciben directamente el ruido producido por el objeto y el camino que recorre la onda es la distancia existente entre el objeto y el receptor del

## ONDAS DE SONIDO

ruido. El empleo de uno u otro tipo de sonar se basa en criterios de alcance y discreción, teniendo cada uno las siguientes ventajas e inconvenientes en su empleo:

Características	Activo	Pasivo
Alcance	Menor	Mayor
Obtención de distancia	Si	No
Discreción	Poca	Mucha
Detección de contactos no ruidosos	Si	No

*Tabla 2.1- diferencias entre el sonar activo y pasivo.*

El alcance está limitado por un gran número de factores siendo los más importantes la frecuencia de la onda y la efectividad del medio en el que se propaga la energía. Cuanto mas baja es la frecuencia, mayor es el alcance que se obtiene. Cabe pensar que basta emplear frecuencias muy bajas para aumentar el alcance todo lo que se desee, pero la disminución de la frecuencia lleva aparejados otros inconvenientes. El primero de ellos es el tamaño de la antena que es inversamente proporcional a la frecuencia, y para valores pequeños de ésta las dimensiones de la antena son en algunos casos imposibles. Con ambos tipos es posible determinar la dirección en la que se encuentra el objeto, pero el sonar activo permite obtener la distancia midiendo el tiempo que transcurre entre el momento en que se emite la radiación y el instante en que se recibe el eco si se conoce la velocidad a la que el sonido se propaga en el agua.

El sonar pasivo no contempla esa posibilidad, aunque en la actualidad existen medios para obtener la distancia a un objeto midiendo la diferencia de fase en la que las ondas llegan a varios receptores separados entre sí, pero son más complejos. En general el sonar activo y el pasivo se complementan para efectuar la detección y el análisis de objetos sumergidos y tanto los submarinos como los buques de superficie con capacidad antisubmarina emplean ambos tipos de forma conjunta.

## **2.5- USOS DEL SONAR**

El uso principal de un SONAR es de carácter militar y naval por excelencia. Las modernas unidades de las Marinas militares con capacidad antisubmarina de todos los países disponen de equipos tanto activos como pasivos para realizar la detección, clasificación, seguimiento y ataque de submarinos. Estos a su vez disponen de equipos para la detección de buque de superficie y de contramedidas para evitar o retardar su detección por dichas unidades. Los dragaminas mecánicos se reemplazan por modernos cazaminas dotados de equipos SONAR de gran precisión y resolución capaces de localizar objetos sumergidos y visualizar su forma o estructura para determinar si se trata de una mina.

El incesante avance de la electrónica y de la informática aplicada a la acústica submarina ha hecho extender las capacidades de los equipos al análisis del ruido radiado por los barcos, obteniendo así la denominada "firma acústica" que permite identificar cada unidad de forma unívoca al igual que una huella dactilar identifica a una persona; pero a diferencia de las huellas dactilares que son invariables, las firmas acústicas cambian con el tiempo. Esto es debido a que dichas "firmas" proceden en su mayor parte del ruido radiado por la maquinaria a bordo de los buques y dicho ruido varía a su vez con las modificaciones, reparaciones y fatiga de las piezas que se componen. Gran parte de la tecnología se ha transferido a usos civiles. Es bastante común el uso de sondadores en barcos de todo tipo, medidores de espesor de capas de hielo y otros dispositivos de ayuda a la navegación que usan el sonido o ultrasonido. Otra aportación significativa son los detectores de pesca que permiten la localización de bancos de peces. Los buscadores de tesoros poseen poderosos equipos.

Sensores de ultrasonidos se aplican para sistemas de alarma y para realizar mediciones precisas y máquinas de ecografía se emplean a diario para ayuda al diagnóstico en medicina.

## 2.6- MEDIDA DE PROFUNDIDAD

En este trabajo se va incidir más en los Sonares activos, ya que con ellos se pueden medir en forma remota las profundidades de mares, lagos, ríos y reservorios, a este proceso de medición se llama Batimetría y se hacen con un instrumento que se llama ecosonda. La ecosonda mide la profundidad emitiendo un pequeño pulso de sonido y luego escuchando el eco del pulso cuando llega al fondo del mar, río o lago. El tiempo entre la transmisión del pulso y el retorno del eco nos da el tiempo de viaje del pulso de sonido. Conociendo este tiempo y también la velocidad del Sonido en el agua podemos calcular la distancia o la profundidad, matemáticamente hablando tenemos la siguiente ecuación:

$$\text{Profundidad } d = \left( \frac{\text{Velocidad del Sonido} (H_2O) \times \text{Tiempo del Eco}}{2} \right) \quad (4)$$

Para producir una onda de sonido, la ecosonda necesita un proyector. Un proyector es un dispositivo capaz de producir sonido en el agua. Un sonar batimétrico o ecosonda producen repetidamente pulsos acústicos con buena precisión, estos usan un proyector construido de un material piezoelectrónico-cerámico el cual tiene un material que cambia minuciosamente cuando le aplican un voltaje. El proyector es equivalente a un altavoz porque transforma energía eléctrica en ondas de sonido.

La fuente genera un pulso de sonido que se expande en el agua en forma de esfera, esta energía viaja igual en todas las direcciones. Mientras que la esfera del pulso se amplía, su energía se expande por un área mas grande causando una caída en energía por unidad de área, esta caída de energía se llama Pérdida por Propagación. El pulso sufre una cierta atenuación por la Pérdida por Absorción, estas dos pérdidas se les conoce como Pérdida por Transmisión. La cantidad total de la pérdida de transmisión que afecta a la onda acústica es dependiente de la distancia que viaja, cuanto mas lejos viaja la onda regresa más débil.

Cuando una onda de sonido choca y golpea una porción del fondo del mar ó río se dice que esa porción se ilumina. Si este pulso de sonido choca en algunos materiales complejos como la arena absorben mucha energía, en cambio en rocas o materiales

metálicos sólo absorben un mínimo de energía. Las ondas que no se absorben son reflejados o se dispersan dentro del agua. La fracción de energía incidente que regresa al proyector por unidad de área se llama Dispersión de Vuelta del fondo. La ecosonda detecta el pulso de vuelta usando un Hidrófono, este dispositivo convierte las oscilaciones físicas de las ondas de sonido en voltaje, los hidrófonos actúan como parlantes. Debido a la semejanza entre el proyector y el hidrófono casi siempre en los sistemas de Sonar se encuentran en un sólo hardware llamado transductor que será materia de estudio mas adelante.

En todo el proceso (generación del pulso, propagación y recepción del eco) hay muchas señales que se agregan a la señal final recibida, producto de muchos factores como las ondas de criaturas marinas y señales falsas que se incorporan de los botes etc. Colectivamente a estas señales se les llama Nivel de Ruido que limita el rango de medida de todo instrumento. En un mundo sin ruido un diminuto eco desde el fondo puede ser detectado. Mientras un pequeño sonido y su eco tienen pérdidas de transmisión que los hacen más débiles, ellos nunca en realidad se caen a cero. Sin embargo, en el mundo verdadero lleno de ruido ellos eventualmente se harán tan débiles que serán indistinguibles del nivel ruidoso, y siendo así imperceptibles.

La relación Señal a Ruido es la relación entre la fuerza de la señal con el nivel de ruido, esto nos da la medida de detección de la señal. La mínima relación Señal a Ruido requerida para detectar una señal depende de la aplicación específica.

## 2.7- ECUACIÓN DEL SONAR

La ecuación general del Sonar expresa el funcionamiento del sistema como una medida de la relación Señal a Ruido en el transductor para una profundidad específica:

$$NE = LS - NW - LN - NRD - ND \quad (5)$$

Donde:

NE = Exceso de la señal, expresado en decibelios (DB), es el cociente de la señal/ruido en el sistema requerido para el funcionamiento confiable de la detección.

LS = Nivel de la fuente, es la medida de la presión del sonido expresada en DB referido a 1 Newton por centímetro cuadrado en una distancia de 1 metro del transductor.

NW = Pérdida total de la propagación (DB)

LN = Nivel de ruidos del sistema (DB)

NRD = Relación Señal a Ruido requerida por la exhibición usada (registrador) o reconocimiento diferencial.

ND = Pérdida de transmisión de dos vías entre el transductor y el agua (DB), llamada también pérdida por interferencia acústica.

### 2.7.1- NIVEL DE LA FUENTE

El nivel de la fuente nos indica la cantidad de energía eléctrica que se aplica al transductor, la capacidad de concentrar la energía en el haz de sonido y la eficiencia que tiene el transductor para convertir la energía eléctrica a una energía acústica en el agua. Un Sonar activo emite una señal acústica en un nivel de la fuente, LS. El nivel de la fuente esta dada por:

$$LS = 10 \log(\text{Intensidad de la Fuente} / \text{Intensidad de Referencia}) + \text{NID} - E \quad (6)$$

En un rango estándar de 1m, el emisor es rodeado por un sobre esférico donde el área de la superficie  $4\pi r^2 = 12.6m^2$  y la intensidad de referencia es  $6.504 \times 10^{-19} \text{W/m}^2$ . Si el Proyector irradia con una potencia omnidireccional, la intensidad de la fuente es:

$$\text{Intensidad de la Fuente} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Area}} = \frac{P}{12.6Pa} \quad (7)$$



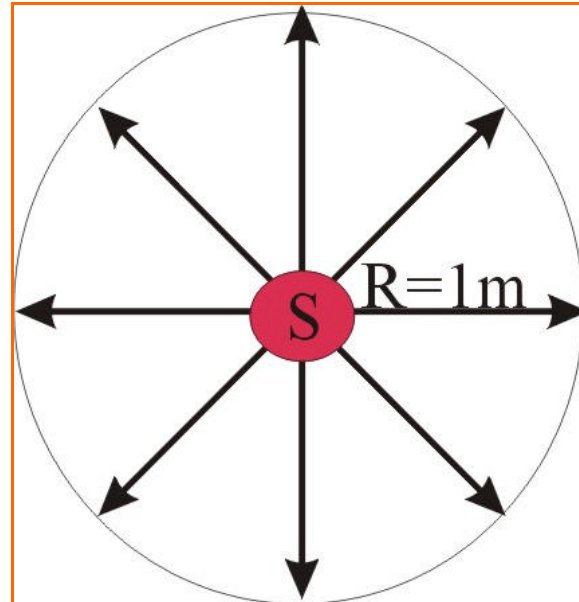


Figura 2.5- muestra la intensidad de radiación del transductor a un metro.

Con la referencia de Intensidad de 1uPa. El  
 Nivel de la Fuente  $LS = 10 \log P + 167 \text{ dB} + NDI - E$  será:

(8)

NDI es el índice de directividad del transductor y está dado por:

$$NDI = \frac{4pA}{I^2} \quad (9)$$

Donde A = área superficial eficaz de radiación del transductor.

E es la eficiencia del transductor y esta dado por:

$$E = 10 \log \left( \frac{100}{n} \right) \quad (10)$$

Donde n= eficiencia en porcentaje.

Para nuestra aplicación este parámetro no se pudo obtener debido a que no se posee ningún instrumento para medir la intensidad de la fuente.

## 2.7.2- PÉRDIDA TOTAL DE PROPAGACIÓN

Existe un modelo básico para la pérdida de propagación que se puede utilizar en la ecuación del Sonar para calcular la capacidad de la profundidad en este sistema. El modelo considera el eco inferior sobre todo una reflexión coherente de la señal con un

factor de pérdida inferior para explicar la absorción y las pérdidas de la dispersión. Este modelo se le conoce a veces como el modelo de pérdida por espejo o modelo en forma de espejo.

### 2.7.2.1- MODELO EN FORMA DE ESPEJO

La señal se propaga a un objetivo ó al fondo de río, mar ó lago y sufre una pérdida de transmisión, esta pérdida se refiere a la reducción de la intensidad de señal conforme la señal avanza una determina distancia. Existen dos causas para que la señal sufra pérdida de transmisión, la dispersión y la absorción de la señal. La dispersión se refiere al ensanchamiento de la onda acústica con respecto a la distancia. Existen dos tipos de dispersión, el esférico y el cilíndrico. La dispersión esférica ocurre en ambientes donde no ocurre canalización acústica. Esto es por lo general el caso en ambientes de aguas profundas. Debemos recordar que la Intensidad en un distancia R esta definida como la Potencia por unidad de área.

$$I = \frac{P}{\pi r^2} \quad (11)$$

En donde r es proporcional al rango o distancia R por lo tanto la intensidad varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia o rango R.

$$I \propto \frac{1}{R^2} \quad (12)$$

La pérdida de transmisión por dispersión es igual a:

$TL = 10 \log(\text{Intensidad en una distancia de 1 metro} / \text{Intensidad a una distancia R})$

$$TL = 10 \log\left(\left[\frac{P}{2\pi l^2}\right] / \left[\frac{P}{2\pi R^2}\right]\right)$$

$$TL = 20 \log R \quad (13)$$

La dispersión cilíndrica se da en caso de aguas pocas profundas ( es el caso de nuestra aplicación) en el cual la intensidad es inversamente proporcional a la distancia o rango R .

## ONDAS DE SONIDO

$$TL = 10 \log R \quad (14)$$

La otra causa de pérdida por transmisión es la absorción. La absorción ocurre por una fricción viscosa en altas frecuencias y por resonancia molecular (Fenómeno de Relajación Iónico) a bajas frecuencias. La ecuación más simple del coeficiente de absorción es:

$$a = (0.17 \times 10^{-3} \times F^2) / (T + 18) \quad (15)$$

Donde F esta en Kilohercios y T en grados centígrados.

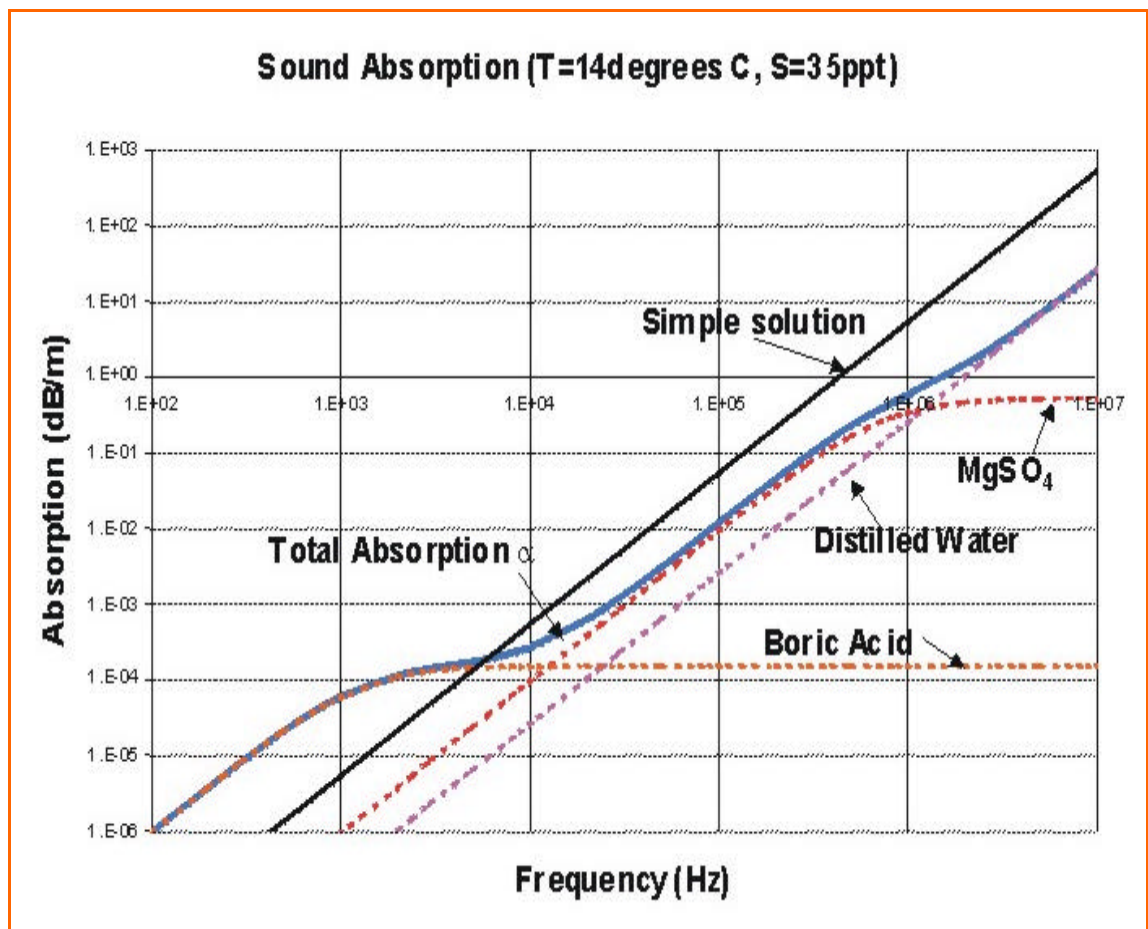


Figura 2.6- muestra la estimación conservadora para la absorción en frecuencias encima de los 10kHz.

Nuestra aplicación trabaja con 200Khz lo cual nos da un  $a = 0.045$  (agua destilada) observando la figura 2.6.

## ONDAS DE SONIDO

Tomando las pérdidas por dispersión y por absorción tenemos el total de la pérdida por transmisión como:

$$NW = k \log R + aR \quad (16)$$

Donde K para casos prácticos vale 15 caso intermedio entre la dispersión (esférica y cilíndrica). Por lo tanto la pérdida de propagación para este modelo es:

$$NW = k \log R + aR + NBL \quad (17)$$

Donde NBL es la pérdida en el fondo y su valor varia entre 15dB hasta 25dB para valores promedios.

### 2.7.3- NIVEL DE RUIDO DEL SISTEMA

El nivel del ruido del Sistema incluye el ruido de la misma embarcación, el ruido del ambiente que existe en el agua, y el ruido de la reverberación que es una función de las trayectorias de la propagación y de la configuración del sistema acústico. Un valor apropiado del nivel de ruido generado por la embarcación debe ser determinado en la instalación el cual debe estar en lo límites para el buen funcionamiento del sistema batimétrico. Este ruido es expresado en un nivel de espectro en dB/1 bar en una banda de 1Hz. Luego es necesario incrementar el nivel de espectro por un factor de Corrimiento del ancho de banda (NBW) determinado por la ancho de banda del sistema de recepción. El factor de la corrección de la anchura de banda se expresa en dB como:

$$N_{BW} = 10 \log \frac{BW}{1 \text{ Hz}} \quad (18)$$

Donde BW es el ancho de banda del sistema en recepción en Hz.

Los niveles de ruido se asumen generalmente como fuentes isotrópicas. Esto asume que el ruido recibido en el hidrófono no tiene ninguna característica direccional por lo tanto, la directividad del transductor actuará para reducir el ruido antes de entrar en el sistema de recepción.

El término total del ruido en la ecuación del sonar es:

$$LN = La + NBW - NDIR \quad (19)$$

Donde

LN = Es el ruido total del ancho de banda del sistema en recepción.

La = Nivel de espectro del ruido en un ancho de banda a 1 Hertz.

NBW = Factor de Corrimiento del ancho de banda.

NDIR = Índice de la directividad del transductor de recepción.

Para nuestra aplicación no es indispensable obtener este parámetro debido a las pruebas se harán en pozos y reservorios.

#### **2.7.4- RECONOCIMIENTO DIFERENCIAL (NRD)**

Un valor aceptable del reconocimiento diferencial se llega en forma empírica. Las dos técnicas principales para la exhibición en los sistemas batimétricos son el registrador de papel seco y el digital. En la práctica la relación señal a ruido es de 10 DB para el reconocimiento diferencial en un registrador de papel seco, un 14 DB se utiliza para los sistemas digitales, el reconocimiento confiable de los datos es alcanzado por el sistema.

#### **2.7.5- PÉRDIDA POR INTERFERENCIA ACÚSTICA (ND)**

Cuando el transductor transmite de varias maneras directamente en el mar, o del medio final de la propagación, entonces una pérdida acústica del interfaz (pérdida de transmisión de dos vías) debe ser considerada al usar la forma general de la ecuación del sonar.

## **2.8- TRANSDUCTOR**

Un transductor es cualquier dispositivo capaz de convertir un tipo de energía en otra. Los transductores empleados en acústica convierten energía eléctrica en acústica e inversamente. Así pueden compararse los transductores acústicos empleados bajo el agua con los micrófonos y altavoces usados en el aire pero con las siguientes diferencias fundamentales:

- Un transductor submarino necesita 60 veces más potencia para proyectar la misma cantidad de energía que un altavoz equivalente usado en el aire.
- La presión ejercida por el medio acuático es mayor que la ejercida por el aire y además aumenta con la profundidad, lo que obliga a dotar a los transductores de una cierta resistencia mecánica.

Los transductores que trabajan en el agua y convierten el sonido en electricidad se llaman HIDRO FONOS, los que realizan el proceso contrario se llaman PROYECTORES. Muchas veces un mismo transductor puede realizar ambos procesos. Las cualidades necesarias en un transductor son la LINEALIDAD (proporcionalidad entre la señal eléctrica y la acústica) y REVERSIBILIDAD (igualdad de movimiento en los dos sentidos de conversión de la energía). Cuando un transductor no posee intrínsecamente linealidad se precisa aplicar una determinada polarización para conseguir ese efecto.

### **2.8.1- TIPOS DE TRANSDUCTORES**

Dependiendo del funcionamiento teórico del sistema los transductores se clasifican según su origen en:

#### **i. Explosivos:**

Son emisores de señal que generan en el agua mediante una explosión o deflagración un impulso de corta duración y gran ancho de banda. Se aplican en prospección de hidrocarburos, eco-localización marina, posicionamiento y guerra submarina.

**ii. Cañones y chorros de gas o agua:**

Son emisores de bajas o muy bajas frecuencias, que funcionan liberando de forma rápida aire, gas, vapor de agua o agua a presión. Los de aire o gas tiene el efecto indeseable de la formación de burbujas; su margen de funcionamiento está entre los 4 Hz y 1 KHz. Un caso particular este tipo son los que se forman a partir de un constreñimiento de la conducción, son los llamados "hidrodinámicos", que cubren un margen de frecuencia entre 10 Hz y 30 KHz.

**iii. Descargas eléctricas de alta potencia o SPARKERS:**

Emisores que generan la señal acústica a través de la descarga entre dos electrodos de un alto potencial eléctrico, que es capaz de vaporizar el agua que rodea a los electrodos y crea una burbuja gaseosa. Su principal inconveniente es la formación de burbujas de grandes dimensiones que interfieren el ancho de banda útil pero que puede paliarse aumentando el número de electrodos y la variación de la frecuencia emitida con la profundidad.

**iv. Dispositivos hidráulicos:**

Emisores que generan una onda continua en lugar de un impulso mediante un motor que mueve hidráulicamente un pistón para producir el desplazamiento de un diafragma. El espectro de frecuencias es muy bajo, nunca superior a 1 KHz. Presentan el inconveniente de ser de gran dimensión y peso.

**v. Electrodinámicos:**

Emisor cuyo funcionamiento es el mismo que el de un altavoz aéreo. Su principal inconveniente es la débil intensidad acústica generada.

**vi. Electrostáticos:**

Son emisores-receptores cuyo funcionamiento es similar al micrófono de condensador. Presentan una gran linealidad por lo que suelen usarse como dispositivo calibrador.

**vii. Piezoeléctricos:**

Emisores-receptores basados en la propiedad de algunos materiales naturales como la Sal de Rochelle el cuarzo y el ADP (fosfato diádico de amonio) de adquirir una carga eléctrica entre sus caras si son sometidos a un esfuerzo mecánico e inversamente. Presentan el inconveniente de ser muy sensibles al calor y que algunos como la Sal de Rochelle son solubles en agua, por lo que se usan manteniéndolos en un baño de aceite. Tienen buen rendimiento, pero admiten solo potencias muy bajas.

**viii. Electrostrictivos:**

Emisores-receptores con las mismas cualidades que los piezoeléctricos si antes son convenientemente polarizados, es decir, se añade una señal eléctrica junto con la de entrada de forma que la variación de la intensidad acústica dependa linealmente de la señal de entrada exclusivamente. El material que forma el transductor se obtiene a partir de sustancias policristalinas isotrópicas que se calientan por encima del punto de Curie para liberar sus enlaces moleculares, sometiéndolos a una tensión de polarización y dejándolos enfriar lentamente para obtener un cristal anisótropo (su comportamiento al someterlo a presión o tensión no es el mismo en todas sus caras). Debido a esto se usa la cara del cristal con mayor rendimiento y se intenta anular el efecto de las otras caras. Son materiales de este tipo el Titanato de Bario y el Zirconato de Titanio. Son muy útiles en acústica, ya que pueden moldearse de muy distintas formas y agruparse para obtener la directividad y el modo de funcionamiento más adecuado. Su principal inconveniente es la posibilidad de "despolarización" que puede



producirse por alcanzar elevadas temperaturas, ser sometidos a un fuerte campo eléctrico o sufrir grandes esfuerzos mecánicos.

**ix. Magnetoestrictivos:**

Emisores-receptores contruidos con materiales que tienen la propiedad de variar su tamaño al someterlos a un campo magnético y recíprocamente de variar su permeabilidad si se modifican sus dimensiones. Son materiales de este tipo el Níquel, Cobalto, algunas aleaciones de Hierro y ciertas ferritas. La relación existente entre el campo magnético y las dimensiones del material no es lineal, por lo cual en la mayoría de los casos se precisa la superposición de un fuerte campo magnético estático para conseguir la linealidad. Su principales inconvenientes son el tamaño del núcleo y la limitación de potencia por lo cual se emplean en equipos de pequeño tamaño y poca potencia. Las mayores ventajas son su gran resistencia mecánica y su pequeña necesidad de mantenimiento.

**x. Otros tipos:**

Se experimenta con nuevos tipos de materiales como: Piexopolímeros, como el PVF2 usado comercialmente en altavoces; Sensores acusto-ópticos, en los que se utiliza el LASER y la fibra óptica y funcionan a modo de interferómetro; Aleaciones de Tierras Raras y Hierro, Vidrios metálicos y Ferrofluidos que funcionan como los magnetoestrictivos con mayor rendimiento y los Composites, contruidos con pequeñas piezas de piezocerámica embebidas en una base de silicona o poliuretano.

Los equipos de SONAR usan un conjunto de transductores dispuestos en distintas configuraciones geométricas a fin de obtener mejores resultados. Los transductores piezoeléctricos en general solo se utilizan cuando se trabaja con frecuencias altas y potencias bajas y normalmente en aplicaciones de investigación.

### 2.8.2- IMPORTANCIA DEL TRANSDUCTOR PIEZOELECTRICO

Para aplicaciones debajo del agua estos transductores presentan una buena eficiencia, flexibilidad en el diseño y sobre todo son muy económicos. Este fenómeno es expuesto por algunos materiales los cuales desarrollan un potencial electrostático cuando están sujetos a presiones y recíprocamente se deforma mecánicamente cuando esta sujeto a un potencial electrostático. Los cristales son expuestos como propiedades de los piezoeléctricos, materiales sintéticos piezoeléctricos pueden ser fabricados usando policristales cerámicos ó algunos polímeros sintéticos. No se va entrar en detalles de la fabricación pero se mostrará una figura de las señales de transmisión, recepción y el encapsulamiento del piezocerámico.

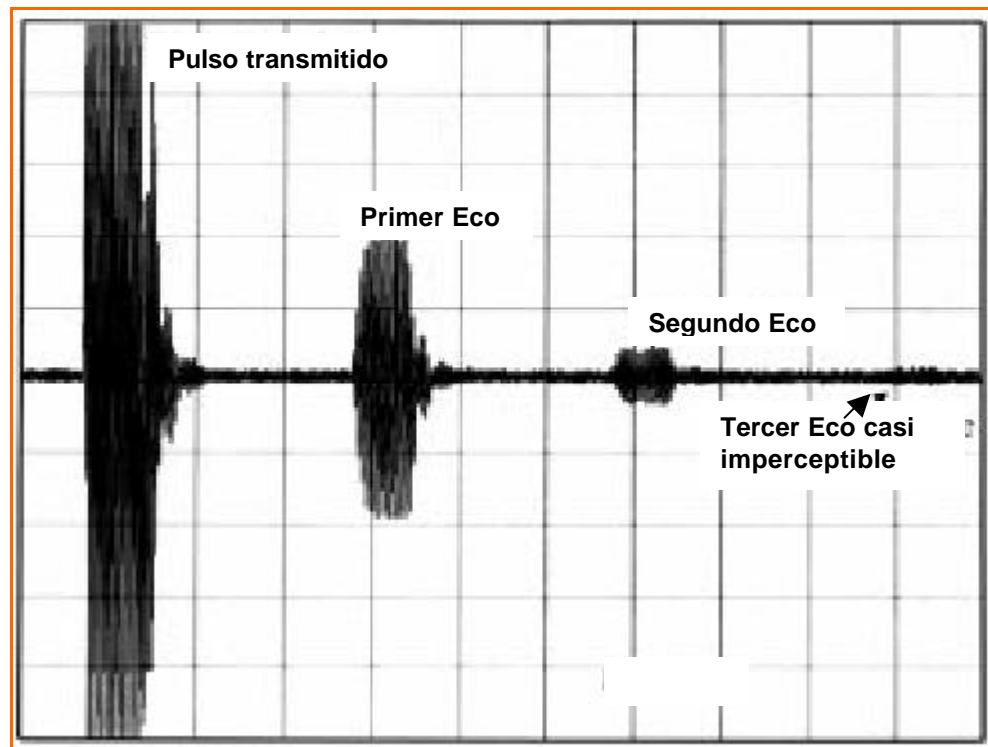
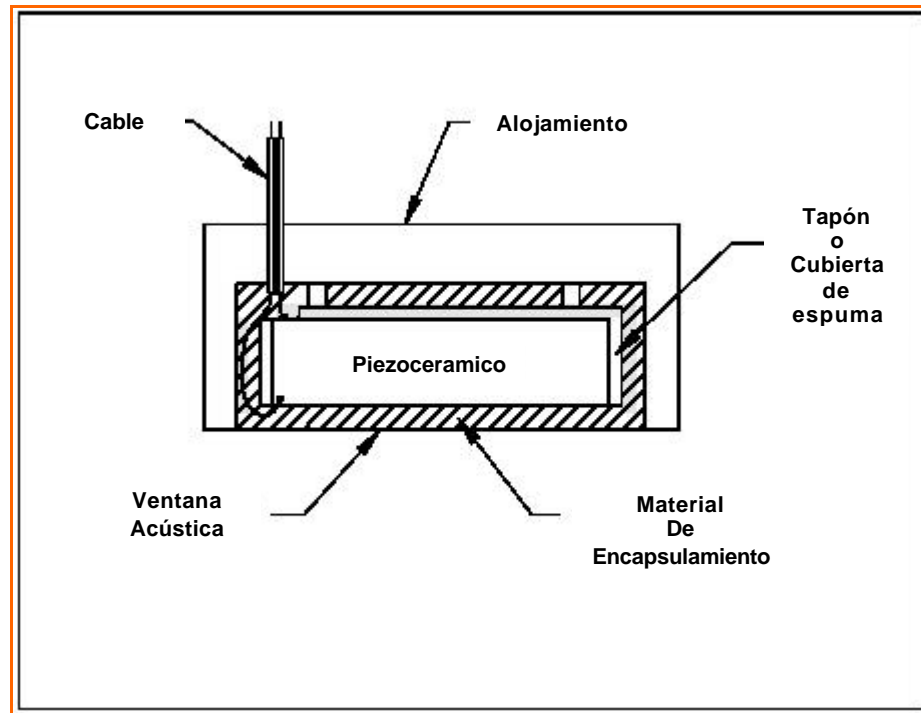


Figura 2.8- muestra el pulso transmitido, la llegada del primer y segundo eco.



*Figura 2.9- muestra el encapsulamiento del Piezocerámico.*

### 2.8.3- MODELO DEL TRANSDUCTOR PIEZOELÉCTRICO

Todos los piezocerámicos tienen al menos una serie de resonancia en frecuencia, el cual ellos vibran fácilmente. Esto depende del material cerámico, forma y dimensiones.

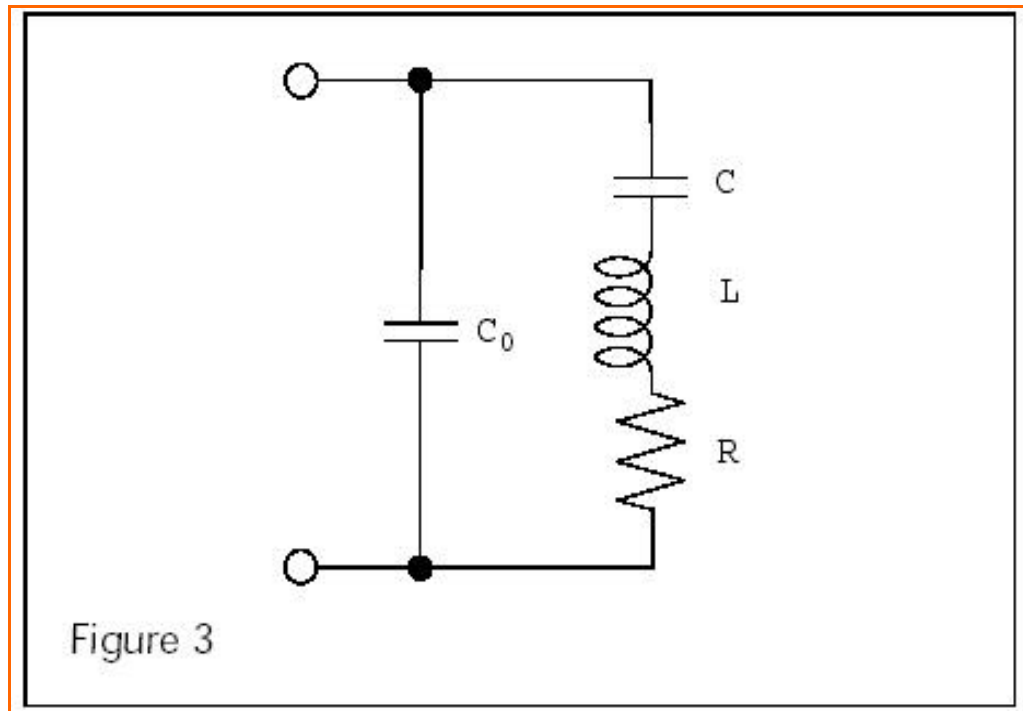


Figura 2.10- muestra el modelo eléctrico del Piezocerámico.

La frecuencia de resonancia esta dado por  $F_r$ . R, C y L representan la resonancia mecánica del transductor, en particular R representa la transferencia de energía en el agua como pérdida mecánica del transductor. En resonancia la energía almacenada en el transductor es transferida atrás y adelante entre C y L y la magnitud de la impedancia es determinada por R.

El capacitor equivalente  $C_0$  representa a capacitancia dieléctrica del transductor. El factor de Calidad Q esta dado por:

$$Q = 2pF_r \left( \frac{\text{Máxima energía almacenada en el transductor}}{\text{Potencia Disipada por el transductor}} \right) \quad (20)$$

La Figura 2.11 muestra el funcionamiento del efecto Piezoeléctrico 1) Cristal, 2) Conexión eléctrica, 3) Carcasa, 4) Material amortiguante, 5) Material trasero, 6) Material conductor, 7) Tejido, 8) Gel conductor. Tiempo 1: Estado de reposo, Tiempo 2: Voltaje eléctrico comprime el cristal logrando el envío de ondas, Tiempo 3: Ondas

## ONDAS DE SONIDO

viajando a través del tejido y produciendo ecos, Tiempo 4: Retorno de los ecos comprimen el cristal y se convierten en voltaje.

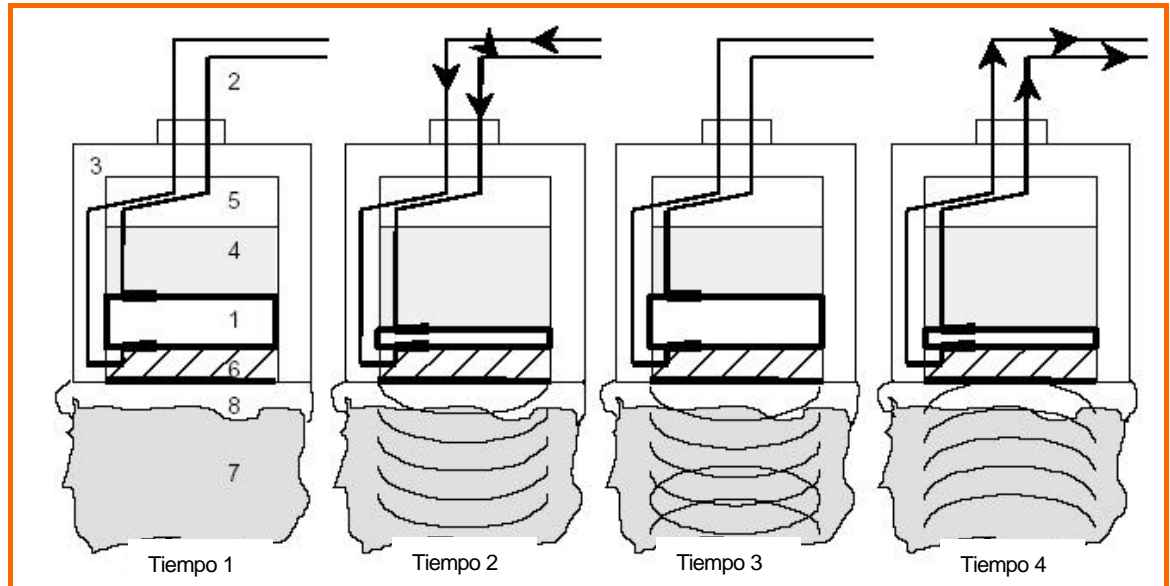


Figura 2.11- muestra el Efecto Piezoeléctrico.

**CAPITULO 3**


---

## **ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD**

---

En esta etapa se tendrá como objetivo analizar el proceso de medición de profundidad con el propósito de expresar la profundidad en función del tiempo. Para esto se usó una nave de radio control (barquito) en el cual se instalo un sensor de profundidad (Sonar) con su respectivo transductor.

Definimos:

Velocidad de barquito:  $V_b$  en metros/segundo

Periodo de Medición de Profundidad:  $T$  en milisegundos

Por lo tanto el barquito avanzará en 1 metro en  $\frac{1}{V_b}$  segundos entonces podemos concluir que en 1 metro habrá  $N$  muestras donde:

$$N = \frac{1000}{V_b * T} \quad (21)$$

Además cada muestra se tomara cada X metros donde:

$$X = Vb \times T \quad (\text{Distancias } b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (22)$$

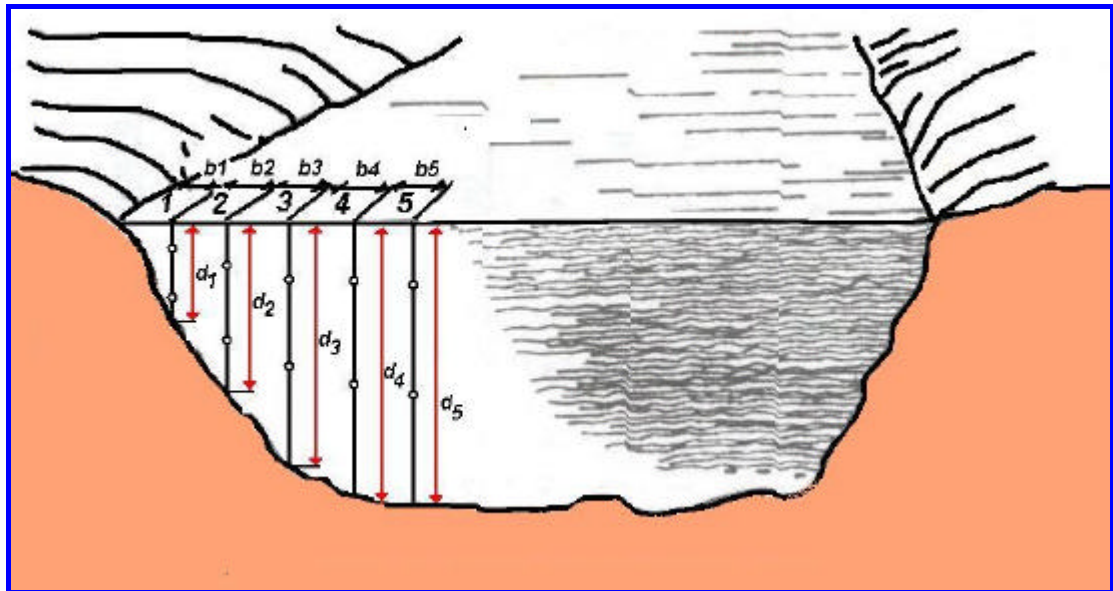


Figura 3.1- sección transversal de Reservorios, Ríos y Lagos

La medición de profundidad se hace a través de un transductor que mide el tiempo de ida y vuelta del impulso ultrasónico.

El Sonar que se utilizó tiene muchas aplicaciones entre las cuales permite detectar Cardumen. Este detector de peces (Sonar) posee un transmisor, un transductor con flotador, un receptor y una exhibición (Display). Las características se muestran en el **Anexo 2**.

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD



*Figura 3.2- detector de peces*

La figura 3.3 muestra el funcionamiento del pequeño sistema para medir la profundidad, un impulso eléctrico del transmisor es convertido en una onda acústica por el transductor y enviado en el agua. Cuando esta onda encuentra el fondo, rebota. Este eco choca con el transductor, y este lo convierte nuevamente en una señal eléctrica, que es amplificada por el receptor y enviada a la exhibición.



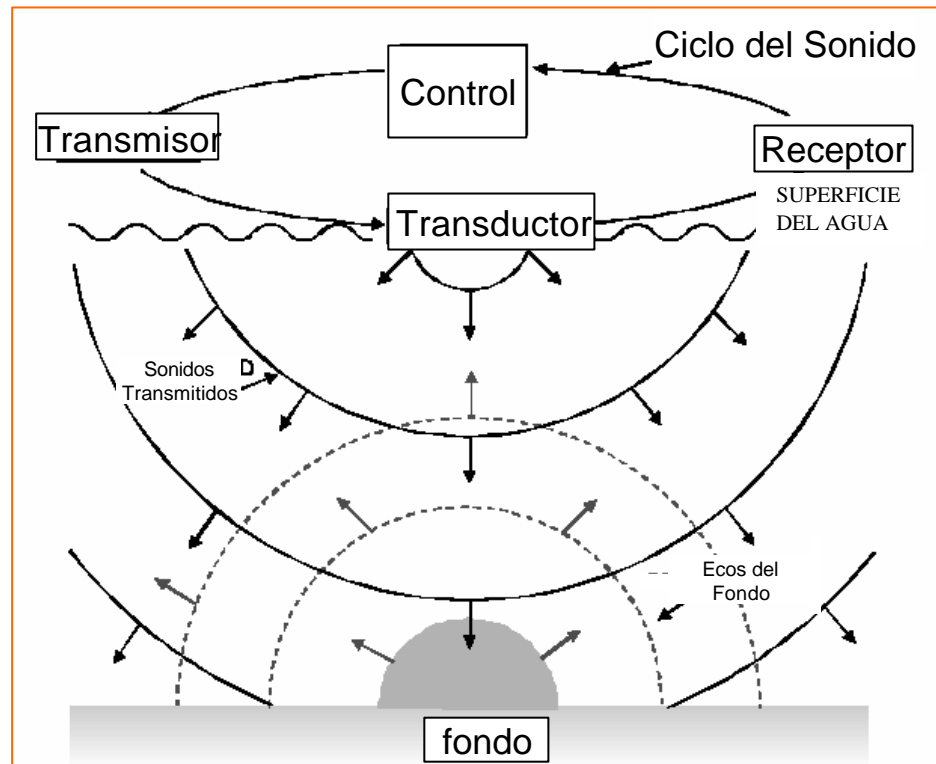


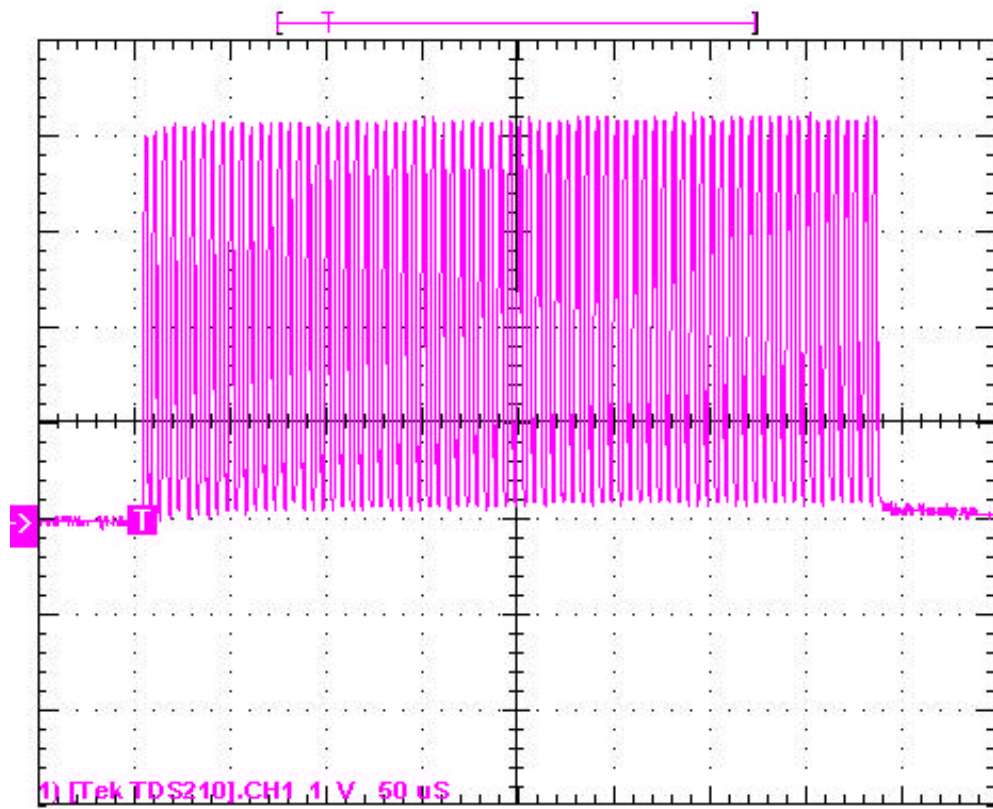
Figura 3.3- funcionamiento del sistema para medir la profundidad.

A continuación vamos a detallar el análisis y funcionamiento de cada componente.

### 3.1- SEÑAL DEL TRANSMISOR

La señal del transmisor debe tener la misma frecuencia que trabaja el transductor, nuestro transductor funciona a 200KHz por lo tanto nuestra señal del transmisor tiene también 200KHz como vemos en la siguiente figura.

La figura 3.4 muestra la señal del transmisor del Sonar que dura 380 microsegundos con una frecuencia de 200KHz y una amplitud de 4.5 voltios, vista en el osciloscopio digital de los laboratorios de la Facultad (Tektronix 210).



*Figura 3.4- señal del transmisor del Sonar*

### 3.2- SEÑAL DEL RECEPTOR

El receptor tiene la función de amplificar la señal débil que vuelve del transductor producto del eco de vuelta. La figura 3.5 muestra la señal que se recibe con interferencia debida al transmisor (remanente que ha ingresado al receptor) y la segunda señal es la del transmisor del Sonar.

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

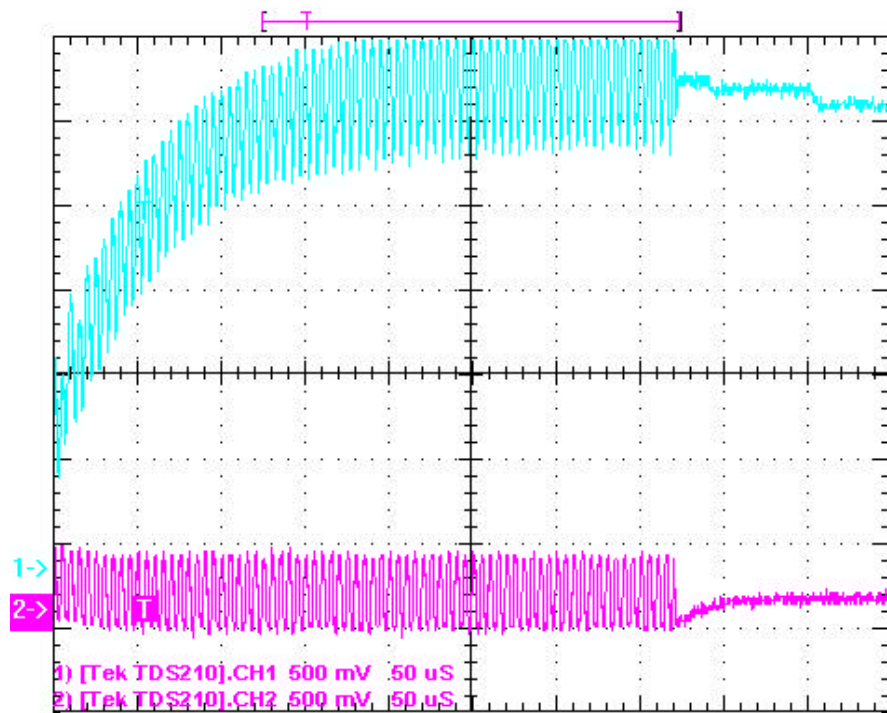
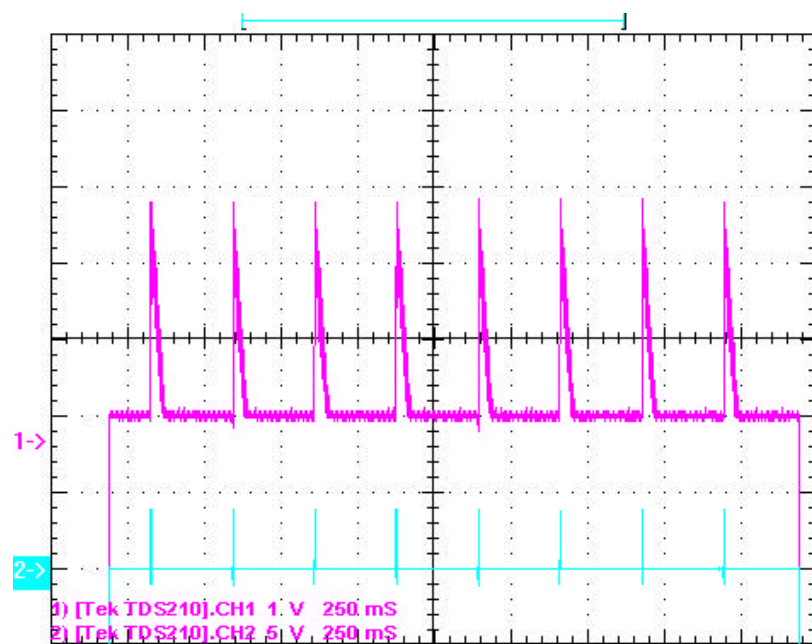


Figura 3.5 muestra la señal del receptor y del transmisor del Sonar.

Las siguientes graficas nos muestran las dos señales (recepción y transmisión) en el tiempo medidas en un pozo de agua. La figura 3.6 nos muestra el receptor y el transmisor del Sonar, vemos que se repiten con un período de 268 milisegundos (Periodo de Medición de Profundidad).



La Figura 3.6 muestra la señal del receptor y del transmisor del Sonar.

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

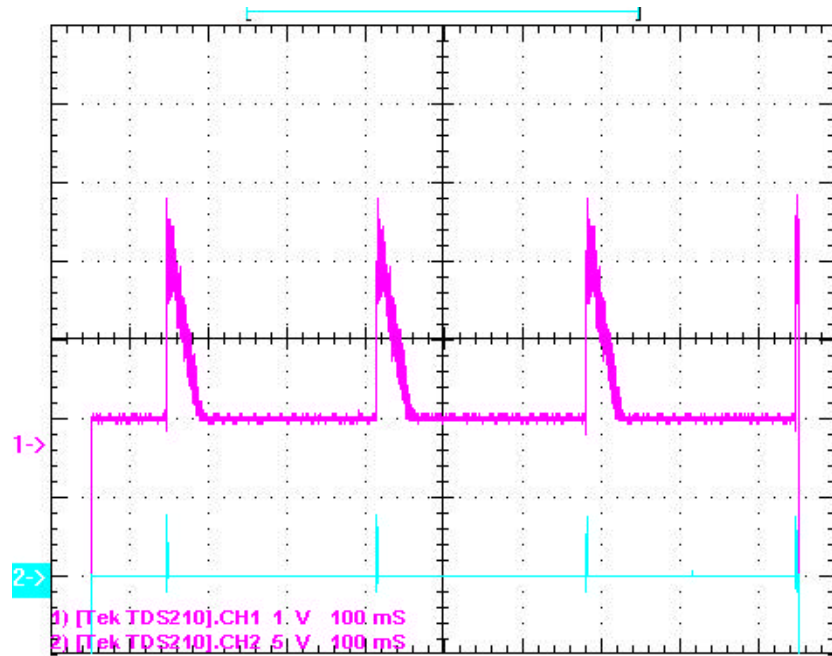


Figura 3.7- las 2 señales acortadas en el tiempo se repiten en un intervalo de 268 milisegundos.

Las siguientes graficas nos muestran las dos señales acortadas más en el tiempo también vistas en el osciloscopio digital de los laboratorios de la Facultad.

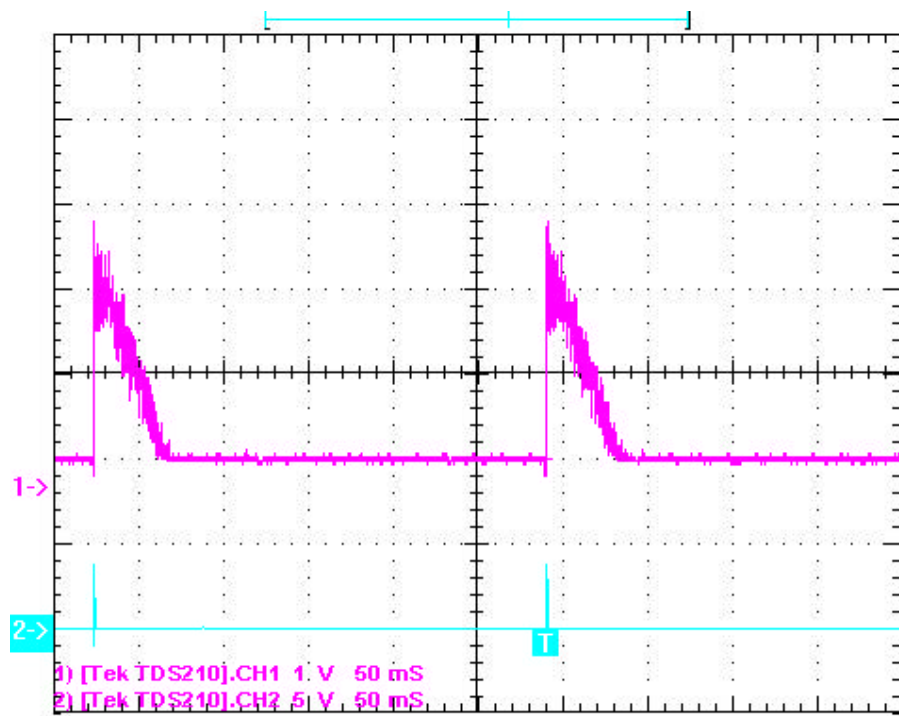


Figura 3.8- las dos señales acortadas más en el tiempo.

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

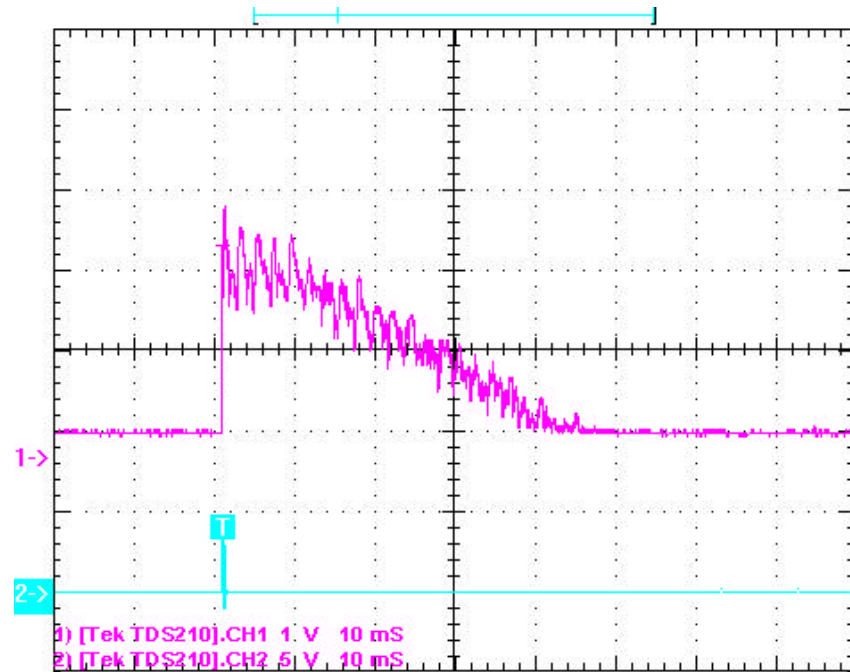


Figura 3.9- la señal del receptor, vemos que se forman los pequeños ecos.

La Figura 3.10 nos muestra la señal del receptor presentando picos, los cuales son los rebotes o ecos, para nuestro caso debemos medir sólo el tiempo que tarda el primer eco desde que comienza la señal del transmisor a 200 KHz.

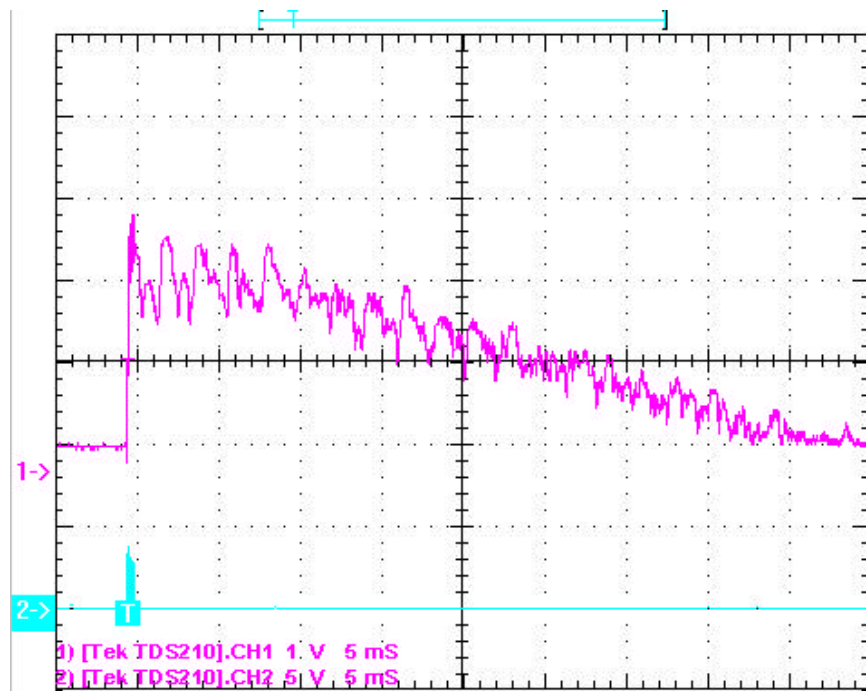


Figura 3.10- la señal del receptor, vemos los pequeños ecos mas pronunciados.

Luego de ver como trabaja nuestro transductor y ver las señales del transmisor y del receptor analizaremos como medimos la profundidad.

### 3.3- MEDICIÓN DEL TIEMPO DEL IMPULSO ULTRASONICO

La medición de profundidad resulta de medir el tiempo que demora el pulso ultrasonido en ir y venir, matemáticamente hablando tenemos la siguiente ecuación: (De acuerdo a la ecuación (3) presentada en el capítulo 2)

$$\text{Profundidad} = \left( \frac{\text{Velocidad del Sonido}(\text{H}_2\text{O}) \times \text{Tiempo del Eco}}{2} \right)$$

La división por 2, se utiliza para tener en cuenta el viaje de ida y vuelta del impulso en el agua. Debemos de tener en cuenta que la profundidad mínima del Sonar es 3 pies de acuerdo al anexo 2 pero nosotros lo hemos ajustado a 70 cm.

Para comprobar la ecuación (3) se hizo mediciones en un pozo observando las señales del transmisor y receptor para medir el tiempo de regreso del eco con un osciloscopio digital. La tabla 3.1 muestra los valores teóricos y experimentales que tarda un eco en regresar, se hicieron pruebas variando el nivel del transductor en un pozo de 1.60 metros de profundidad. Cada medida de profundidad se comprobó con una varilla y un metro.

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

<b>Valores para la velocidad del sonido en el agua a 1463m/s en un pozo de 1.60 metros de profundidad</b>		
<b>Profundidad en metros</b>	<b>Valores Teóricos de tiempo que demora en ir y regresar la señal en milisegundos</b>	<b>Valores Experimentales de tiempo que demora en ir y regresar la señal en milisegundos</b>
0.65	0.88	0.93
0.7	0.9569	1
0.75	1.0253	1.05
0.8	1.0936	1.13
0.85	1.162	1.17
0.9	1.2303	1.22
0.95	1.2987	1.29
1	1.3671	1.35
1.05	1.4354	1.41
1.1	1.5038	1.48
1.15	1.5721	1.53
1.2	1.6405	1.59
1.25	1.7088	1.67
1.3	1.7772	1.74
1.35	1.8455	1.8
1.4	1.9139	1.86
1.45	1.9822	1.91
1.5	2.0506	1.95
1.55	2.1189	2
1.6	2.1873	2.08

Tabla 3.1 pruebas de mediciones en un pozo

En la Tabla 3.1 apreciamos los valores experimentales, los cuales se parecen mucho a los valores teóricos. Debido a los problemas de medición con el osciloscopio estas medidas se diferencian en microsegundos. Estas medidas se hicieron con una velocidad de sonido en el agua de 1463 m/s dada por el fabricante.

A continuación veremos las gráficas de algunas mediciones.

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

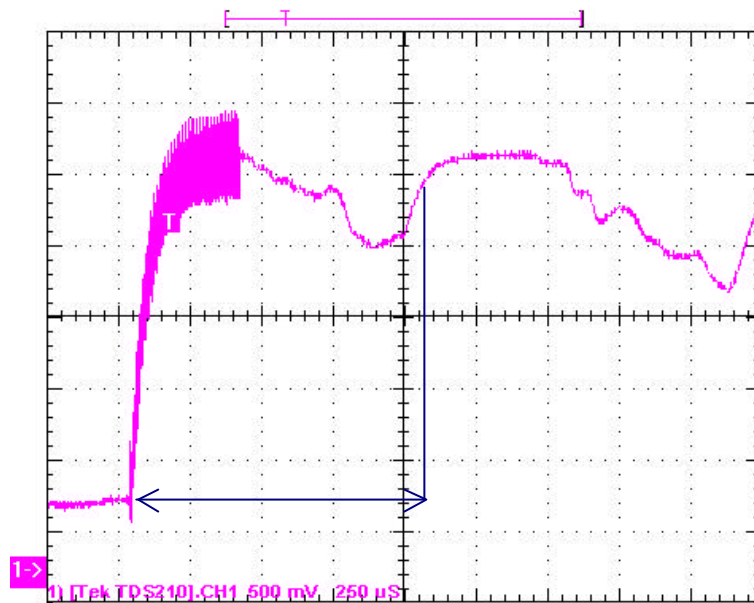


Figura 3.11- muestra la señal del receptor a una profundidad de 70 cm.

En la figura 3.11 puede observar la señal del receptor se eleva cuando sale la señal del transmisor producto que el receptor esta al lado del transmisor, luego la señal cae durante un tiempo y se vuelve a elevar cuando llega el primer rebote o eco. Este tiempo es aproximadamente 1 milisegundo.

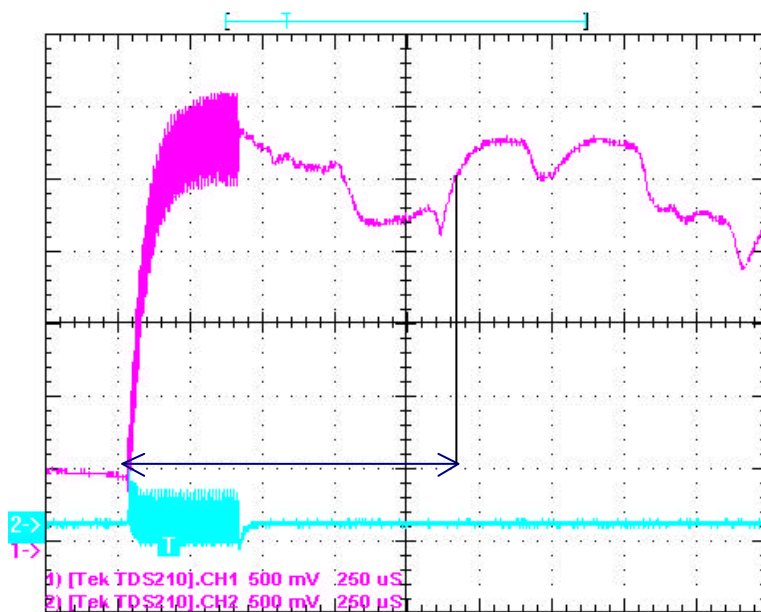


Figura 3.12- muestra la señal del receptor a una profundidad de 80 cm.

Al igual que en el caso anterior, en la figura 3.12 apreciamos el tiempo que demora es 136.7 microsegundos mas que cuando estaba a una profundidad de 70 cm,



## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

ya que 136.7 microsegundos resulta de medir 10cm con la ecuación. Por lo tanto el tiempo es 1.137 milisegundos aproximadamente contados desde que comienzo la señal del transmisor hasta que llegó el primer eco.

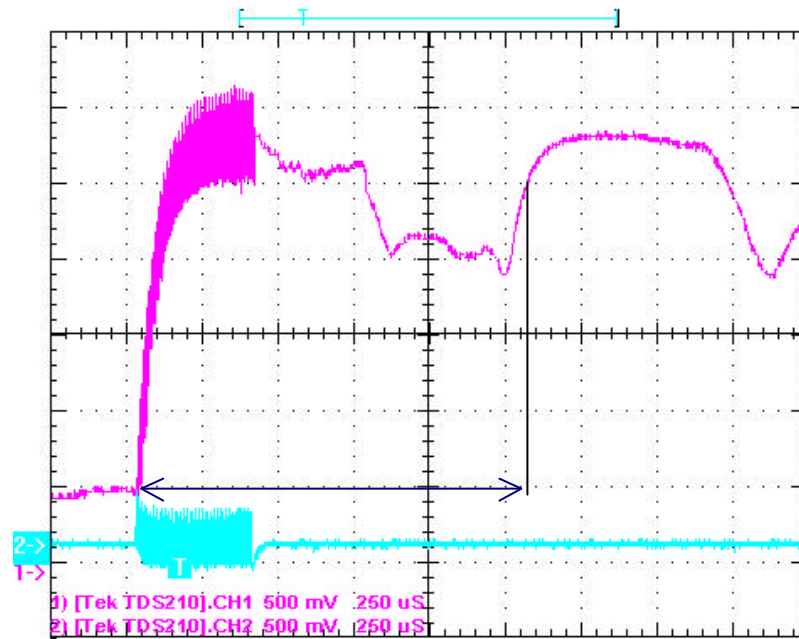


Figura 3.13- muestra la señal del receptor a una profundidad de 90 cm.

En la figura 3.13 podemos ver que la señal de rebote o eco demora aproximadamente 1.22 milisegundos, lo cual cumple con la ecuación (3).

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

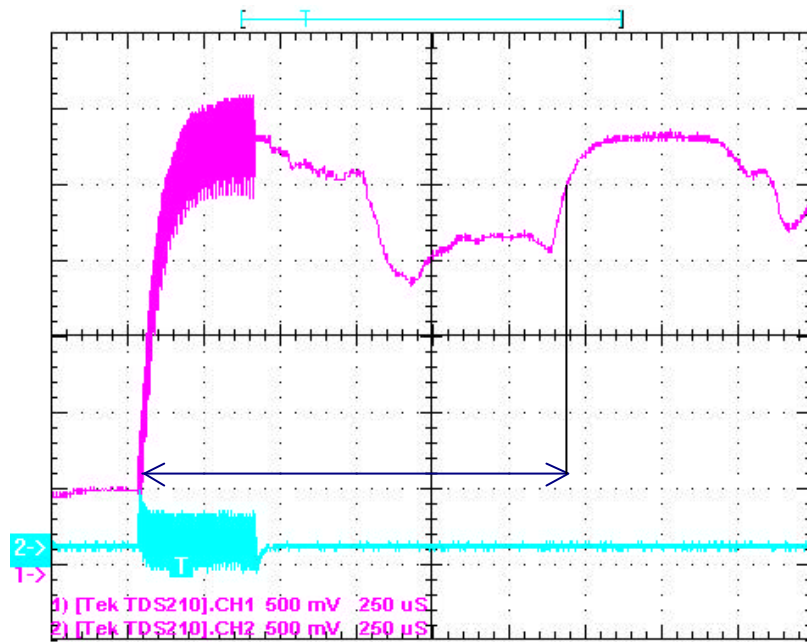


Figura 3.14- muestra la señal del receptor a una profundidad de 1metro.

En la figura 3.14 vemos a la señal de rebote o eco una demora de aproximadamente 1.35 milisegundos, lo cual cumple con la ecuación (3).

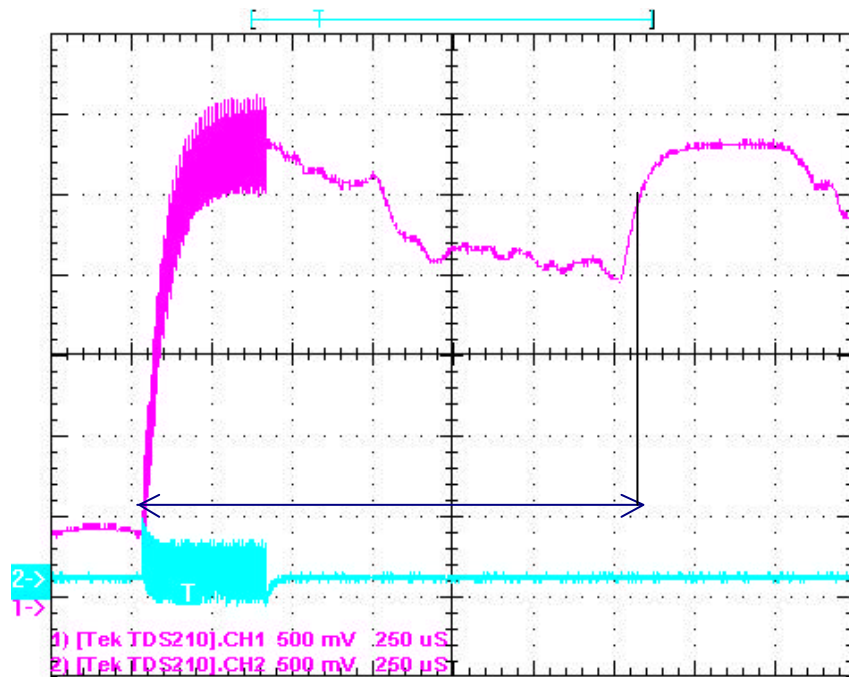


Figura 3.15- muestra la señal del receptor a una profundidad de 1.1metro con un tiempo de rebote de 1.41milisegundos.

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

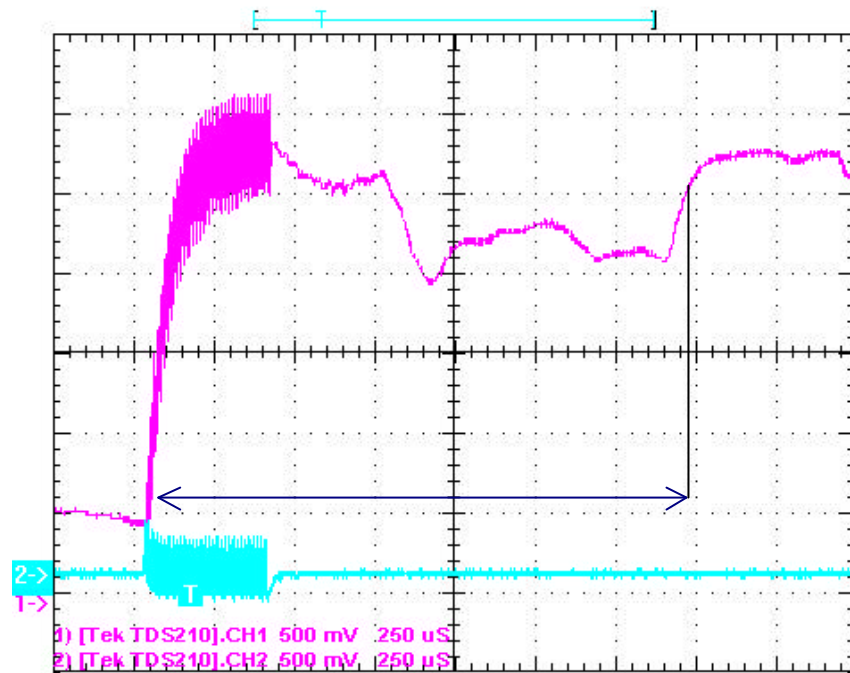


Figura 3.16- muestra la señal del receptor a una profundidad de 1.2metro con un tiempo de rebote de 1.59 milisegundos.

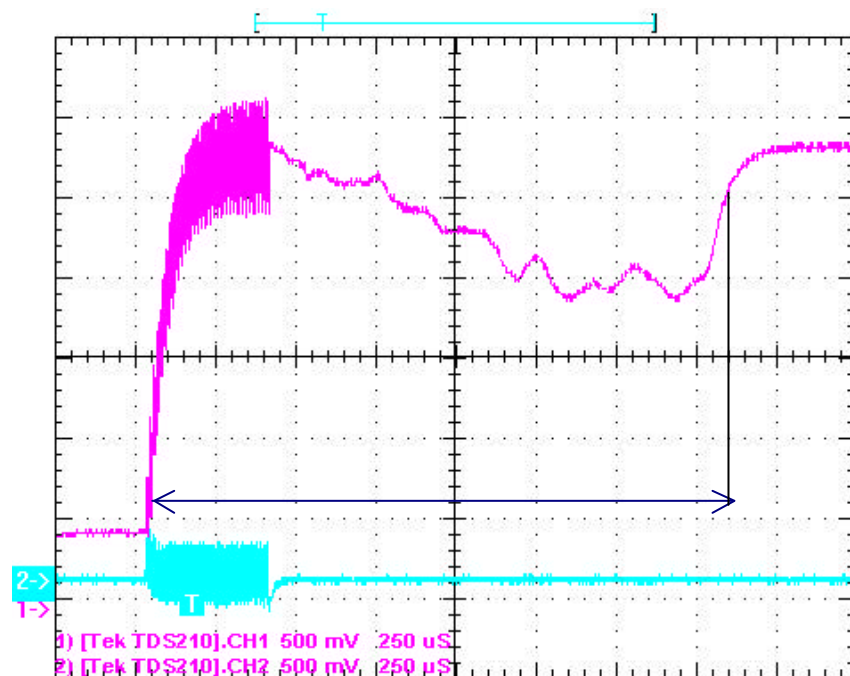


Figura 3.17- muestra la señal del receptor a una profundidad de 1.3metro con un tiempo de rebote de 1.74milisegundos.

## ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

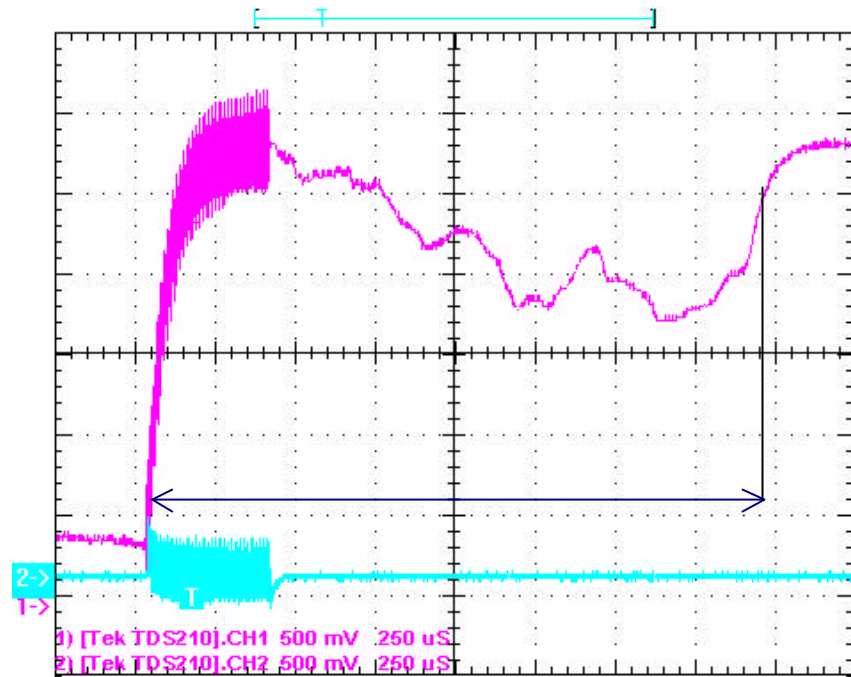


Figura 3.18- muestra la señal del receptor a una profundidad de 1.4metro con un tiempo de rebote de 1.86milisegundos.

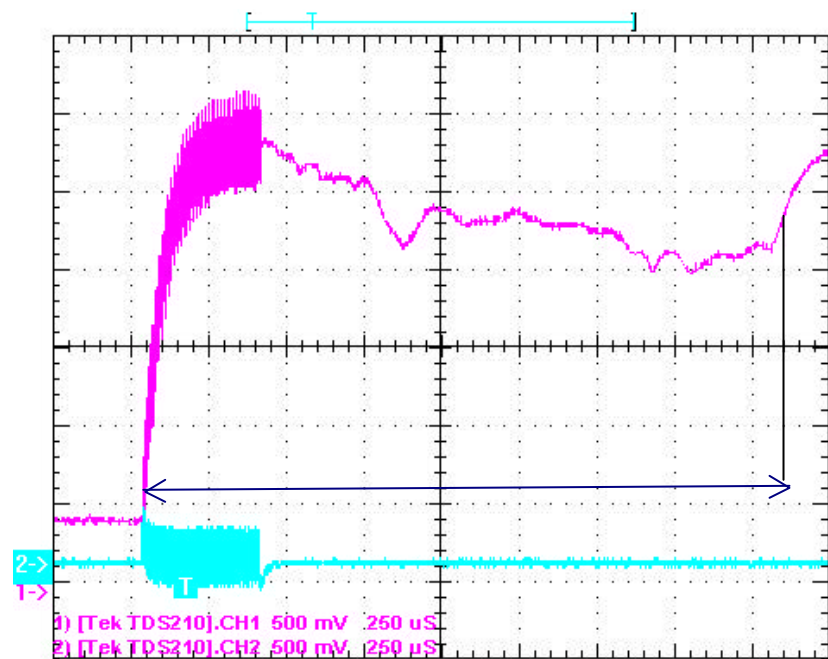


Figura 3.19- muestra la señal del receptor a una profundidad de 1.5metro con un tiempo de rebote de 1.95 milisegundos.

ETAPA DE MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

---

En este capítulo como vemos se tiene la profundidad expresado en tiempo ó retardo de acuerdo a la tabla 3.1, en el capítulo 5 este tiempo será expresado en bits por el microcontrolador RFPIC.

## CAPITULO 4

---

# EL MICROCONTROLADOR RFPIC12F675

---

### 4.1- RFPIC12F675

El RFPIC12F675 es un microcontrolador de la familia 12F675 de Microchip que posee un transmisor UHF entre sus características mas resaltantes están:

- Arquitectura RISC: Sólo posee 35 instrucciones, cada instrucción tarda un sólo ciclo de reloj excepto las de salto que poseen 2 ciclos de reloj. Sus operaciones son rápidas y posee un oscilador interno de 4MHz el cual es calibrado. Tiene modos de direccionamiento directo y indirecto con capacidad de interrupciones.
- Características Periféricas: Posee una memoria de programa FLASH de 1Kx 14, memoria de datos SRAM de 64 bytes, memoria de datos EEPROM 128 bytes y 6 puertos de entrada y salida
- Características de Baja Potencia: Posee una rango de voltaje de operación de 2-5.5 voltios.
- Transmisor UHF: Posee un transmisor RF en la banda UHF, y una potencia de salida de 10dBm. Con todas estas características nos ha llevado a pensar que

## EL MICROCONTROLADOR RFPIC12F675

este microcontrolador nos ayudaría mucho en implementar un sistema de telemetría digital.

Pines	Descripción
1	VDD Fuente de Poder
2	GP5 Puerto de E/S
3	GP4 Puerto de E/S
4	GP3 Puerto solo de entrada (Vpp)
5	RFXTAL Cristal de cuarzo para RF
6	RFEN Habilitador para RF
7	No Utilizado
8	PS Selector de Potencia
9	VDDRF Fuente de Poder RF
10	VSSRF Tierra o Negativo RF
11	ANT Salida del AP para Antena
12	VSSRF Tierra o Negativo RF
13	No Utilizado
14	DataASK Datos Modulación ASK
15	DataFSK Datos Modulación FSK
16	FSKOUT
17	GP2 Puerto de E/S
18	GP1 Puerto de E/S RelojP
19	GP0 Puerto de E/S DataP
20	VSS Tierra o Negativo

Tabla 4.1- distribución de Pines:

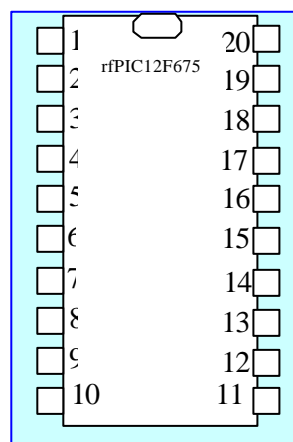


Figura 4.1- microcontrolador RFPIC12F675

## EL MICROCONTROLADOR RFPIC12F675

La siguiente figura muestra el diagrama de bloques del microcontrolador RFPIC.

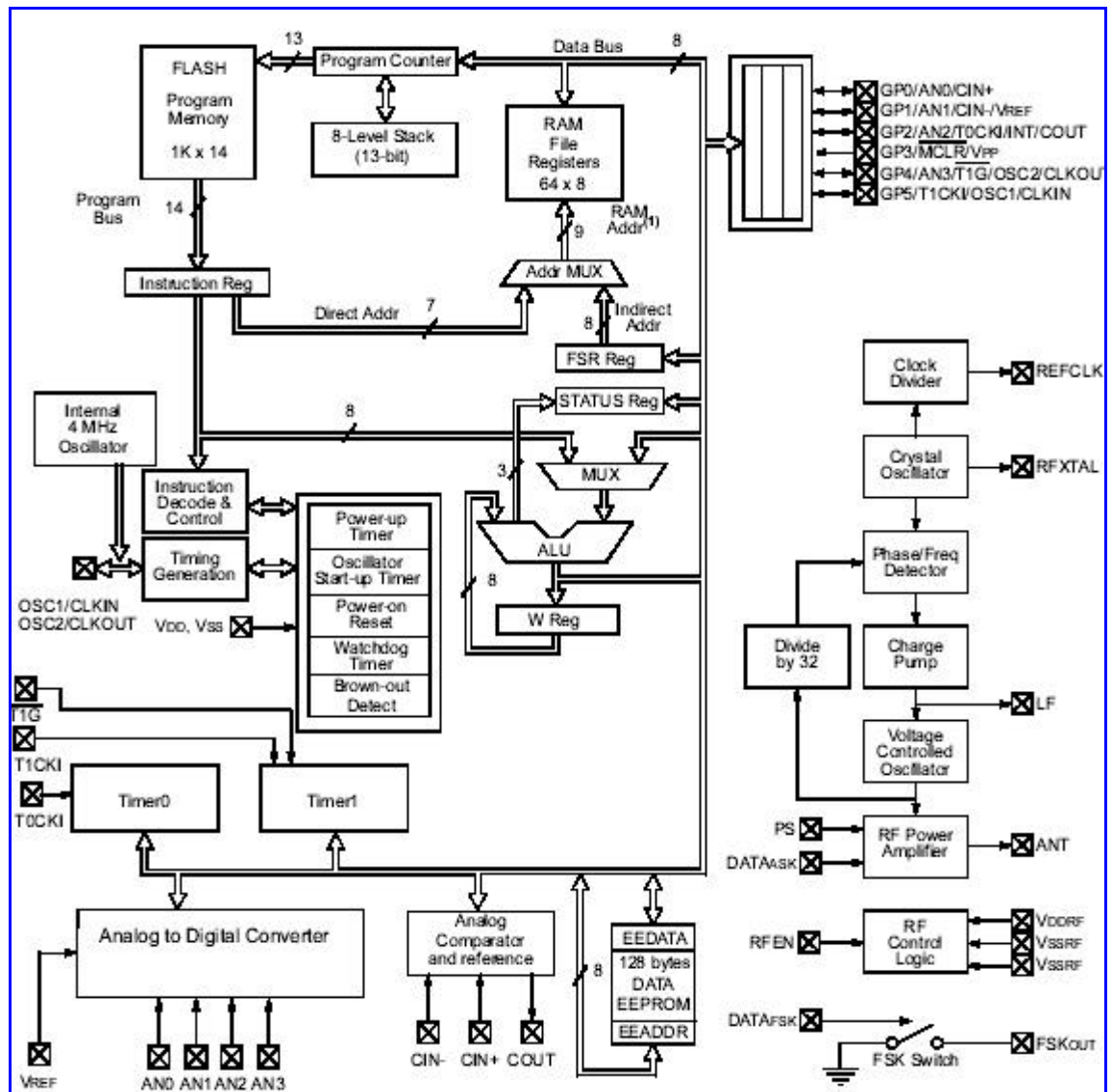


Figura 4.2- muestra el Diagrama de Bloques del RFPIC12F675



#### 4.1.1 - ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

##### 4.1.1.1 - MEMORIA DE PROGRAMA

Este microcontrolador posee un contador de programa de 13 bits capaz de direccionar un espacio de memoria de programa de 8K x 14. El vector reset se ubica en la posición 0000h y el vector de interrupciones esta en la posición 0004h, la figura siguiente muestra el mapeo de la memoria del programa y los niveles de pila.

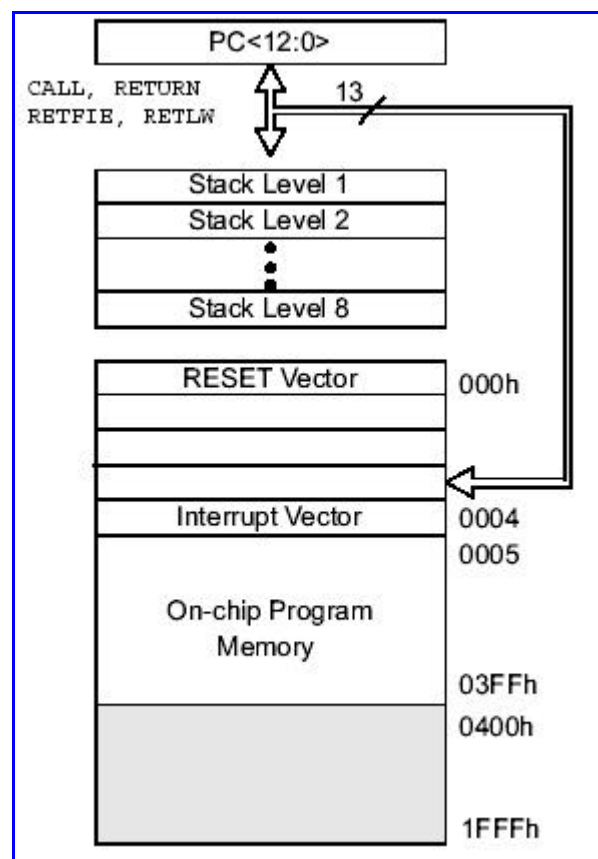


Figura 4.3- mapeo de la Memoria de Programa

##### 4.1.1.2 - MEMORIA DE DATOS

La memoria de datos está particionada en 2 bancos conteniendo el registro de propósitos generales y el registro de funciones especiales. Los registros de funciones especiales están localizados en las primeras 32 direcciones de cada banco las demás posiciones son ocupadas por el registro de propósitos generales. Para seleccionar un

## EL MICROCONTROLADOR RFPIC12F675

banco se deberá escribir en el bit 5 “RP0” del registro STATUS un cero para activar al banco 0 y un 1 para activar al banco 1.



Figura 4.4- memoria de Datos

#### 4.1.1.3 - REGISTRO STATUS

Es el registro mas usado y ocupa la dirección 03h en el banco 0 y la dirección 83h en el banco 1 de la memoria de datos RAM. Este registro tiene:

- Los estados aritméticos del ALU
- Indica el estado de Reset
- Selecciona el banco a acceder en la memoria de datos

Reserved	Reserved	R/W-0	R-1	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x
IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C
bit 7							bit 0

Figura 4.5- estructura interna del registro STATUS

A continuación se describe la función de los bits del registro STATUS.

**Bit 7 IRP:** Este bit es reservado y debe ser programado como 0.

**Bit 6 RP1:** Este bit es reservado y debe ser programado como 0.

**Bit 5 RP0:** Selecciona el banco (sólo se usa para direccionamiento directo).

1= Banco 1

0= Banco 0

**Bit 4  $\overline{TO}$  :** Time Out

1= Se pone a 1 después del encendido y cuando se ejecutan las instrucciones Sleep y Clrwdt.

0= Se pone a 0 cuando se desborda el Watchdog.

**Bit 3  $\overline{PD}$  :** Power Down

1= Se pone a 1 después del encendido y cuando se ejecutan las instrucciones Clrwdt.

0= Se pone automáticamente a 0 cuando se ejecuta la instrucción sleep.

**Bit 2 Z:** Bit cero

1= El Resultado de una Instrucción Lógico-Aritmético ha sido 0.

0= El Resultado de una Instrucción Lógico-Aritmético no ha sido 0.

**Bit 1 DC :** Bit de Carry (trabaja con las instrucciones ADDWF, ADDLW, SUBLW, SUBWF)

1= Vale 1 cuando se produce un acarreo en el cuarto bit. De interes en operaciones BCD.

0= Vale 0 cuando no se produce acarreo.

**Bit 0 C** : Carry en el bit de mas peso (trabaja con las instrucciones ADDWF, ADDLW, SUBLW, SUBWF)

1= Vale 1 cuando se produce un acarreo en el bit de mas peso.

0= Vale 0 cuando no se produce acarreo.

#### 4.1.1.4 - REGISTRO OPTION

Este registro se encuentra la dirección 81h del banco 1 de la memoria de datos RAM. Posee varios bits que configuran:

- El TMR0 y el divisor de frecuencia.
- La Interrupción Externa del Pin GP2

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
$\overline{\text{GPPU}}$	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7							bit 0

Figura 4.6- estructura interna del registro OPTION

A continuación se describe la función de los bits del registro OPTION.

**Bit 7  $\overline{\text{GPPU}}$**  : Habilitador de resistencias PULL-UP del puerto GPIO.

1= Desactivadas.

0= Activadas.

**Bit 6 INTEDG**: Este bit selecciona el flanco de interrupcion.

1= Flanco ascendente del pin GP2.

0= Flanco descendente del pin GP2.

**Bit 5 T0CS**: Este bit selecciona la fuente del Reloj para el TMR0.

1= Pulsos introducidos por el pin GP2.

0= Pulsos del reloj interno Fosc/4.

**Bit 4 T0SE** : Este bit selecciona el tipo de flanco

1= Incremento de TMRO cada flanco descendente.

0= Incremento de TMRO cada flanco ascendente.

**Bit 3 PSA** : Asignación del divisor

1= El divisor es asignado al WDT.

0= El divisor es asignado al TMR0.

**Bit 2-0 PS2-PS1** : Selecciona el valor con el que actúa el divisor de frecuencias.

Bit Value	TMR0 Rate	WDT Rate
000	1 : 2	1 : 1
001	1 : 4	1 : 2
010	1 : 8	1 : 4
011	1 : 16	1 : 8
100	1 : 32	1 : 16
101	1 : 64	1 : 32
110	1 : 128	1 : 64
111	1 : 256	1 : 128

Tabla 4.2- divisor de frecuencias

#### 4.1.1.5 - REGISTRO OSCAL

Este registro se encuentra en la dirección 90h del banco 1 de la memoria de datos RAM. Es usado para calibrar el oscilador interno de 4MHz del RFPic a través de 6 bits.

R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0
CAL5	CAL4	CAL3	CAL2	CAL1	CAL0	—	—
bit 7							bit 0

Figura 4.7- estructura interna del registro OSCAL.

**Bit 7-2 Cal5:Cal0**: Son los bits de calibración

111111= Máxima Frecuencia.

100000= Frecuencia Media (4MHz).

000000= Mínima Frecuencia.

#### 4.1.2 - EL PUERTO GPIO

El RFPIC12F675 posee seis pines que pueden funcionar como entradas o salidas, estos pines son GPIO0, GPIO1, GPIO2, GPIO3, GPIO4 y GPIO5 los cuales deben ser configurados en el registro TRISIO.

#### 4.1.2.1 - REGISTRO TRISIO

La configuración de los pines del RFPIC12F675 se hace a través del registro TRISIO.

U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x
—	—	TRISIO5	TRISIO4	TRISIO3	TRISIO2	TRISIO1	TRISIO0
bit 7							bit 0

Figura 4.8- estructura interna del registro TRISIO.

Para configurar un GPIO N como entrada se debe escribir un 1 en la posición N del registro TRISIO, y para configurar un GPIO N como salida se deberá escribir un 0. Esta configuración se hace tanto para entradas digitales como también para entradas analógicas ya que el RFPIC12F675 posee un ADC y un comparador para lo cual se deben de configurar también los registros CMCON(posición de memoria 9Fh) y ANSEL(posición de memoria 19h). El puerto GPIO3 siempre es un puerto de entrada digital.

#### 4.1.3 - TRANSMISOR UHF

##### 4.1.3.1 - OPERACIÓN DE TRANSMISOR

El RFPIC12F675 posee un transmisor ASK en UHF completamente integrado que contiene un oscilador de cristal, un PLL (lazo de fase enganchado), un amplificador de potencia con salida de colector controlado por medio lógico.

Existen 3 clases de RFPIC las cuales se diferencian por la banda de frecuencias de operación las cuales se muestran en la siguiente tabla.

DISPOSITIVO	FRECUENCIA
RFPIC12F675K	290-350 MHz
RFPIC12F675F	390-450 MHz
RFPIC12F675H	850-930 MHz

Tabla 4.3- modelos del RFPIC

La estructura interna del transmisor se muestra en la figura 4.9. El oscilador Collpis genera una frecuencia que es captada del cristal. El VCO convierte el voltaje del pin LF a una frecuencia. Esta frecuencia esta dividida por 32 y comparada a la referencia del cristal. Si la frecuencia o fase no es igual a la referencia, El charge

PUMP corrige el voltaje a través del LF pin. La señal de salida del VCO es también amplificada por el Amplificador de Potencia el cual está conectada con la antena.

Los componentes externos requeridos son un Cristal que sirve para fijar la frecuencia de transmisión, capacitores y un arreglo de impedancias para obtener la máxima potencia en la antena.

Los pines VDDRF y VSSRF son la fuente de poder y la tierra respectivamente del transmisor. Estos pines están separados de la fuente VDD y la tierra VSS del microcontrolador.

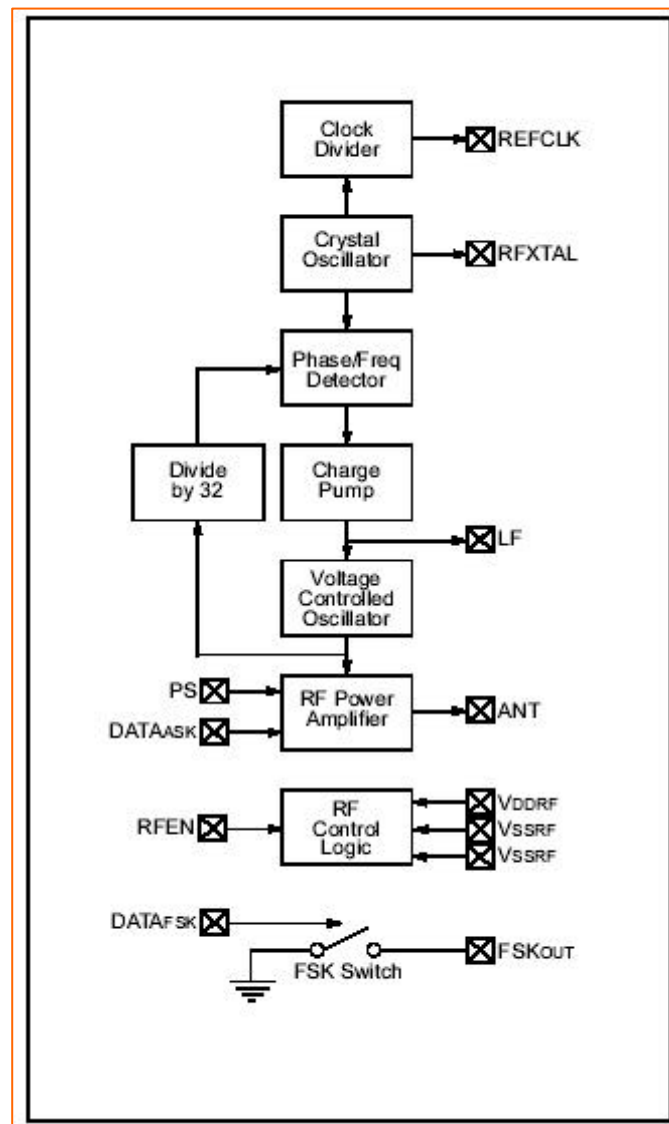


Figura 4.9- estructura interna del transmisor del RFPIC

El oscilador de transmisión es un oscilador de Colpitts el cual alimenta con una frecuencia de referencia al PLL y es independiente del oscilador del microcontrolador. Un cristal externo debe ser conectado en el pin XTAL como referencia, ya que la frecuencia de transmisión esta dado por:

$$F_{tx} = F_{RFXTAL} \times 32 \quad (23)$$

El factor 32 viene del lazo de realimentación del PLL (ver Figura 4.9)

Para seleccionar la potencia de transmisión se varía el voltaje del pin PS conectando una resistencia, los valores se muestran en la siguiente tabla:

Resistencia R1	Potencia de Salida (dBm)
Abierto	9
100k	2
47k	-4
22k	-12
Corto	-70

Tabla 4.4- muestra la potencia de salida en función de R1.

La siguiente figura muestra como colocar la resistencia para seleccionar la potencia.

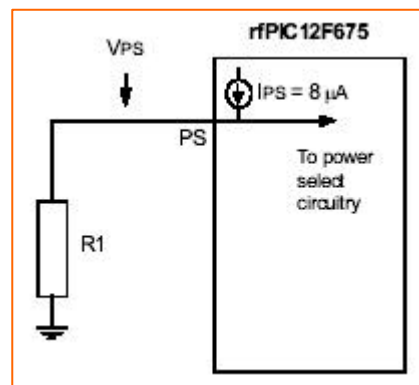


Figura 4.10- muestra como colocar la resistencia para seleccionar la potencia de transmisión.

Debemos mencionar que el RFPIC tiene un control lógico para habilitar el funcionamiento del transmisor, nos referimos al pin RFEN. Mientras está en un nivel lógico 1 el transmisor se habilita caso contrario el transmisor esta en OFF.



## 4.2- MODULACION ASK

La transmisión de señales se ha incrementado de manera rápida. Señales análogas pueden ser convertidas en señales digitales antes de ser transmitidas. Cabe destacar las ventajas de uso que tienen las señales digitales frente a las señales de analógicas como son la facilidad de tratamiento y la posibilidad de introducir mecanismos que permitan la detección y corrección de errores ocurridos durante la transmisión

Existen dos formas de transmitir una señal digital, la primera no es otra que transmitir la señal a través de un canal sin efectuar antes ningún tipo de modulación. Cuando ocurre esto, se dice que la transmisión se realiza en banda base.

La segunda forma, que consiste en modular la señal con alguna técnica de modulación digital antes de ser transmitida, recibe el nombre de transmisión en banda ancha.

Básicamente, modular consiste en convertir una señal digital en una señal analógica que irá variando su amplitud, frecuencia, fase o bien amplitud y fase conjuntamente, según los valores que vaya tomando la señal digital de información.

Las grandes ventajas de la transmisión en banda ancha frente a banda base son la posibilidad de multiplexión en frecuencia de varias señales digitales moduladas, y la mayor distancia que pueden alcanzar las señales transmitidas en banda ancha sin verse afectadas por el ruido.

Amplitude Source Keying también conocida como OOK ON OFF KEYING, es una técnica de modulación en la que la información se encuentra modulada en amplitud, así pues ASK no es mas que una variación de la modulación AM.

Para Afrontar el estudio de la modulación ASK, vamos a considerar una señal binaria  $f(t)$ , que guarda la información a transmitir con unos niveles de tensión de 0 a A voltios y anchura del pulso de  $T_b$  ver figura 4.11, además emplearemos una señal portadora  $(\cos \omega t)$  de alta frecuencia.

$$f_{ask}(t) = f(t)\cos(\omega t) \quad (24)$$

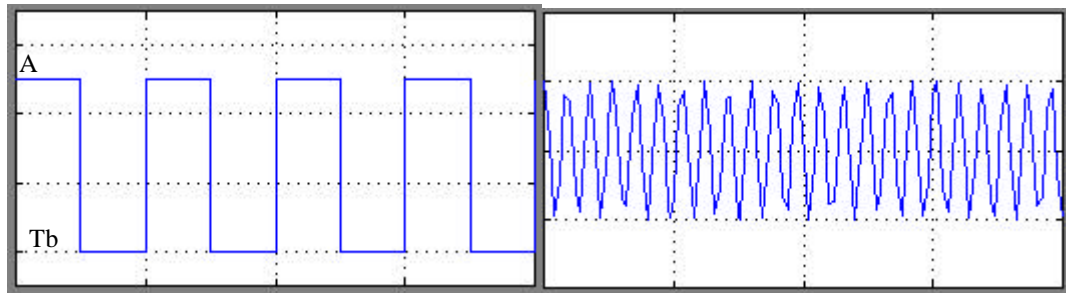


Figura 4.11- muestra a la derecha la señal portadora y a la izquierda la señal binaria.

es decir :si  $f(t) = 0 \rightarrow f_{ask}(t) = 0$

si  $f(t) = A \rightarrow f_{ask}(t) = A\cos(\omega t)$

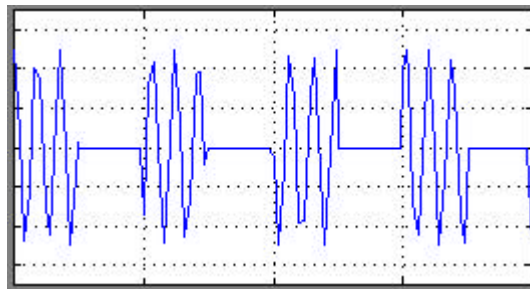


Figura 4.12- muestra a la señal binaria con modulación ASK.

En efecto la multiplicación de  $(\cos \omega t)$  es simplemente el corrimiento del espectro de frecuencia original de la señal  $f(t)$  hasta la frecuencia  $\omega$  de la portadora.

La siguiente figura muestra una simulación de la modulación digital ASK en matlab.

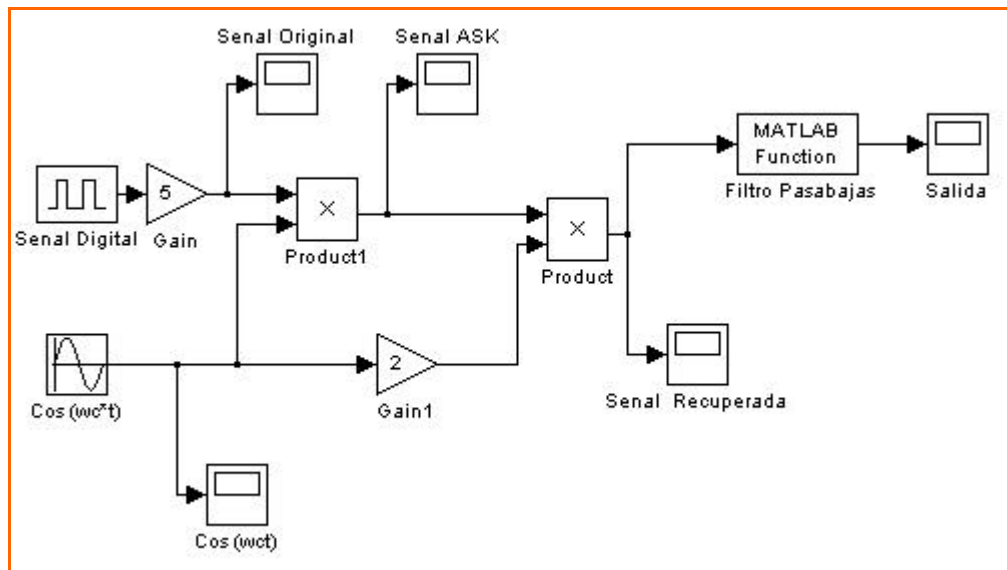


Figura 4.13- muestra la simulación en Matlab de la modulación ASK.

#### 4.2.1 - MODULADOR ASK

Existen diversos moduladores de ASK, nosotros hablaremos del modulador balanceado, el cual es similar a un multiplicador analógico. La salida analógica es el producto de dos señales de entrada.

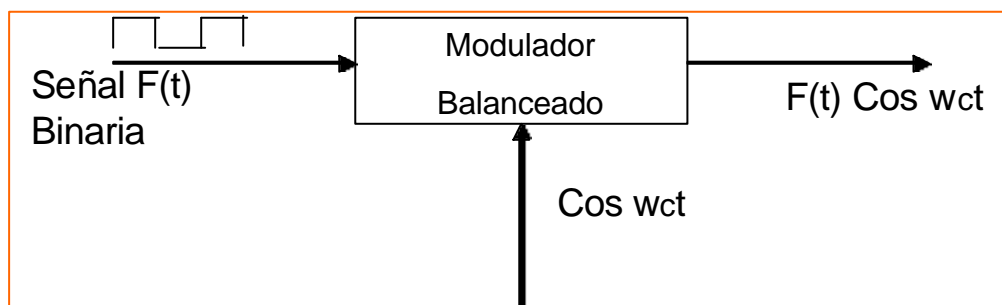


Figura 4.14- muestra el Modulador ASK.

Como se puede observar la salida del modulador es producto de la señal binaria  $F(t)$  y de la portadora  $\cos(\omega_c t)$ . La salida es la misma de la figura 4.12.

## 4.2.2 - DEMODULADOR ASK

Puesto que la modulación ASK es un caso particular de la modulación AM, los demoduladores AM también son válidos para la detección de señales ASK. De esta manera existen dos clases de demodulador, los de detección asíncrona y los de detección de envoltura

### 4.2.2.1 - DEMODULACION DETECCION ASI NCRONA

Consiste en multiplicar analógicamente la señal ASK que llega al demodulador, por la señal portadora que se genera localmente en el receptor. Esta señal resultante se hace pasar por un filtro pasa bajo con frecuencia de corte menor que  $2\omega_c$  como se ilustra en la figura siguiente.

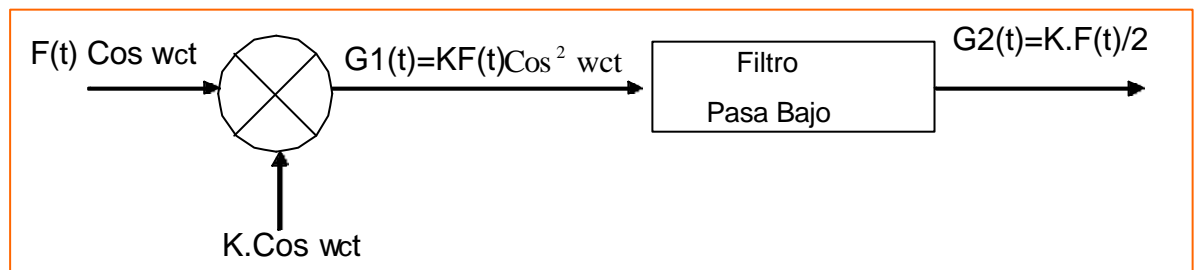


Figura 4.15- muestra el Demodulador de Detección Asíncrona.

La validez de este método se puede demostrar en:

$$G1(t) = KF(t)\cos^2 wct = KF(t) \frac{1 + \cos 2wct}{2} = \frac{KF(t)}{2} + \underbrace{\frac{KF(t)\cos 2wct}{2}}$$

Por lo tanto

Desaparece  
en el filtrado

$$G2(t) = \frac{KF(t)}{2} \quad (25)$$

Colocando a la salida del filtro un adaptador de niveles, o simplemente haciendo  $K=2$  recuperamos  $F(t)$ . Este tipo de demodulación tiene problemas de fase y frecuencia.

#### 4.2.2.2 - DEMODULACIÓN Y DETECCIÓN DE ENVOLVENTE

En este caso la señal ASK de alta frecuencia que llega al receptor, se hace pasar por un dispositivo no lineal (Diodo) y de un filtro pasa bajos.

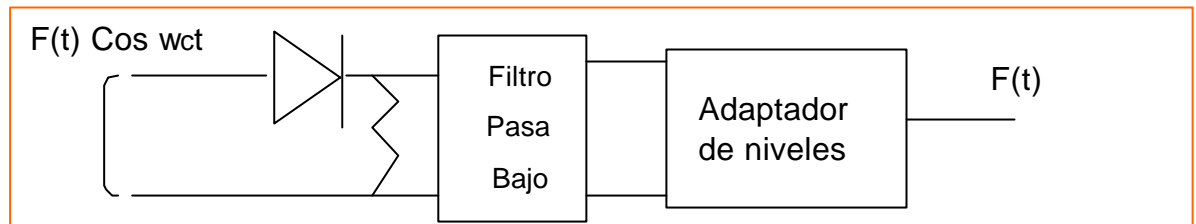


Figura 4.16- muestra el Demodulador de Detección Envolvente.

El diodo rechaza la parte negativa de la señal ASK y el filtro pasa bajos no puede seguir las variaciones rápidas de la señal, por lo que solamente se queda con la señal envolvente que dejó pasar el diodo. El adaptador de niveles aparece para corregir la escala a la salida del demodulador. La detección envolvente de las señales ASK es algo inferior a la detección asíncrona, por lo contrario es menos costosa.

#### 4.3- ANTENA DE LAZO

Las antenas de Lazo son muy populares especialmente para pequeños transmisores y típicamente tienen forma circular, cuadrática o rectangular y casi siempre están impresas en una placa.

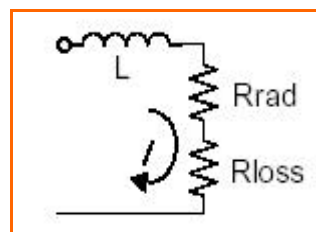


Figura 4.17- muestra el modelo de circuito equivalente de una antena de Lazo.

El modelo consiste de dos resistencias y un inductor. El resistor  $R_{rad}$  o resistencia de radiación modela la energía de radiofrecuencia irradiada por la antena. Asumiendo que una corriente  $I$  fluye por el lazo, la potencia irradiada esta dada por la ecuación:

$$P_{radiacion} = I^2 \times R_{rad} \quad (26)$$

El segundo resistor en el modelo,  $R_{loss}$  modela la perdida no deseada que es inevitable en la antena que es consumida en forma de calor. Si  $R_{loss}$  es mas grande que  $R_{rad}$  la antena es deficiente. La potencia perdida en forma de calor esta dada por la ecuación:

$$P_{perdida} = I^2 \times R_{loss} \quad (27)$$

$I$  es uniforme alrededor del lazo sólo para lazos de circunferencias pequeñas. Para complementar, la potencia total entregada a la antena está dada por la suma de las radiaciones de las resistencias que se expresa en la siguiente ecuación:

$$P_{total} = I^2 \times (R_{rad} + R_{loss}) \quad (28)$$

En la practica  $R_{rad}$  está determinada por el área del lazo de la antena y  $R_{loss}$  está en función del tamaño y de la conductividad del lazo.

#### 4.3.1 - CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE RADIACIÓN

La **resistencia** de radiación en una pequeña antena de lazo está dada por:

$$R_{rad} = 320 \pi^4 \left( \frac{A^2}{\lambda^4} \right) \quad (29)$$

Donde  $A$  es el área en metros cuadrados y  $\lambda$  la longitud de onda en metros de la frecuencia de radiación.

#### 4.3.2 - CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PÉRDIDA

La **resistencia** de pérdida en una pequeña antena de lazo está dada por:

$$R_{loss} = \frac{l}{2w} \sqrt{\frac{\rho \cdot f \cdot m}{s}} \quad (30)$$

Donde  $l$  es el perímetro (circunferencia) del lazo en metros,  $w$  es el ancho de la pista en la tarjeta impresa en metros,  $f$  es la frecuencia de radiación en Hertz,  $m = 4\rho \cdot 10^{-7}$  y  $s$  es la conductividad de la pista en la tarjeta impresa, para el cobre el valor típico es de  $5,7 \cdot 10^{-7} \text{ s/m}$ .

### 4.3.3 - CÁLCULO DE LA INDUCTANCIA DEL LAZO

El tercer componente en el modelo es la inductancia  $L$ . La inductancia es primordialmente un efecto magnético y está dado por la siguiente ecuación:

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \times l \times \ln\left(\frac{8A}{l.w}\right) \quad (31)$$

### 4.4- RFRXD0420

El RFRXD0420 es un receptor heterodino en la banda de UHF y recibe datos digitales para ASK. Posee una arquitectura simple y de bajo costo. Requiere pocos componentes para completar un sistema de recepción.

Este receptor cubre un rango de recepción de frecuencia desde 300MHz hasta 450MHz y es compatible con el RFPIC (microcontrolador con transmisor). Las características que posee son las siguientes:

- Ancho de banda angosto.
- Ganancia LNA seleccionable a través de un control.
- Ancho de banda del IF configurable a través de un filtro cerámico externo, desde 455KHz hasta 21.4MHz.
- Posee un indicador de señal fuerte recibida (RSSI) para la demodulación ASK.
- Rango ancho de operación de voltaje y consumo mínimo de corriente.
- Posee 32 pines, 8 en cada lado.

El Receptor RFRXD0420 está compuesto de:

- LNA amplificador de bajo ruido
- Mezclador de conversión baja para señales de RF para la frecuencia intermedia IF seguido de un preamplificador IF.
- Un PLL totalmente integrado, sintetizador de frecuencia para la generación de un oscilador local LO. La frecuencia sintetizadora consiste de un oscilador de cristal, un detector de frecuencia en fase, oscilador controlado por voltaje VCO, divisor por 16 estable con realimentación, un amplificador de límite IF para limitar la señal IF y recibir el indicador de señal fuerte en la recepción

(RSSI), demodulador y un OPAM que se configura para trabajar como comparador de data ASK.

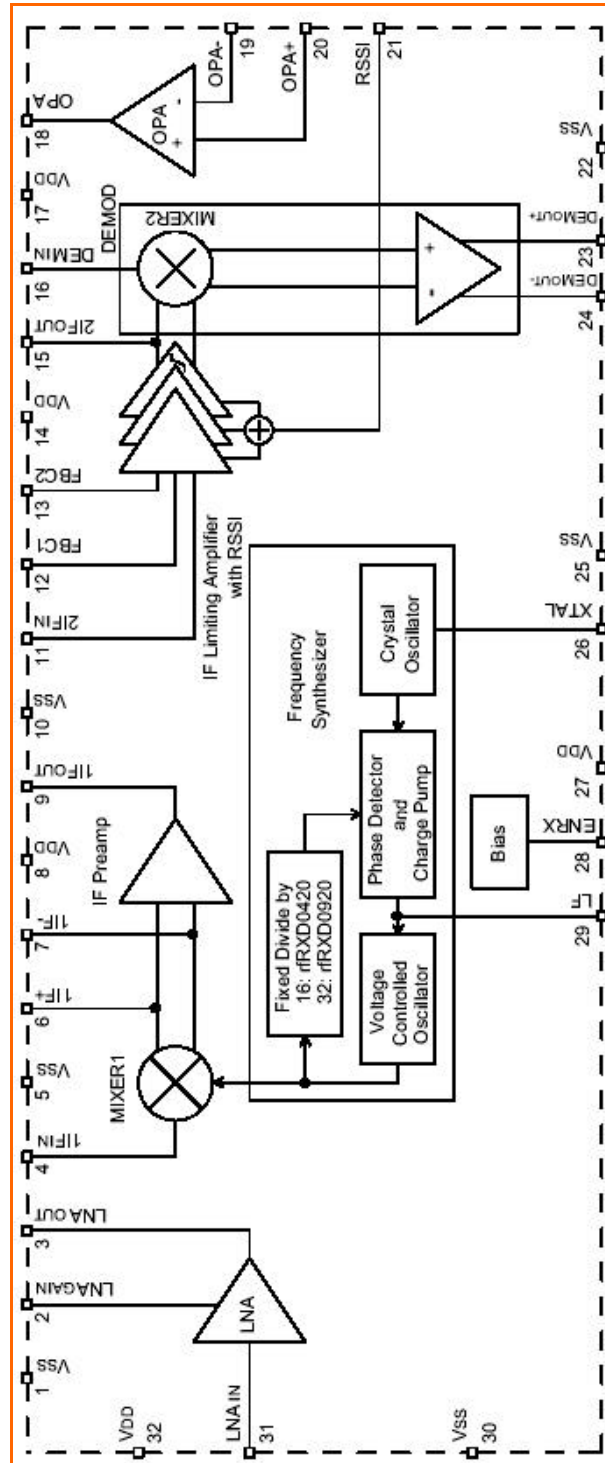


Figura 4.18- muestra el diagrama de bloques del receptor RFRXD0420.



#### 4.4.1 - DESCRIPCION DEL CIRCUITO

Esta sección describe la circuitería interna del RFRXD0420.

- **Circuito Habilitador:** El pin 28 ENRX actúa como habilitador del receptor, la siguiente tabla muestra su descripción:

RX	Descripción
0	Modo reposo
1	Receptor Habilitado

*Tabla 4.5- muestra el Enable del Receptor*

- **Sintetizador de Frecuencia:** El PLL genera un oscilador local LO que consiste de un oscilador de cristal, un detector de fase-frecuencia, un charge pump, un VCO y un divisor por 16 estable realimentado.
- **Amplificador de bajo ruido:** El LNA es un amplificador de alta ganancia cuyo propósito general es disminuir el ruido y así mejorar la sensibilidad del receptor. La entrada del LNA es el pin 31 y tiene una impedancia de  $26\Omega // 2pF$ . La ganancia del LNA es seleccionada por un nivel alto o bajo con entradas CMOS a través del pin 2.
- **Mezclador1 y en preamplificador IF:** El mezclador realiza la conversión de la señal de RF a una Frecuencia intermedia (IF) y luego lleva la señal a un preamplificador de IF.
- **Amplificador limitante IF con RSSI:** EL Amplificador limitante IF amplifica y limita la señal IF. Esto genera el indicador fuerte de señal recibida.
- **Amplificador Operacional:** El OPAM sólo se configura para la salida ASK.

## CAPITULO 5

---

# ETAPA DE CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR DE PROFUNDIDAD, TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN.

---

La señal del sensor de profundidad es codificada a través del microcontrolador **RFPIC12F675** (procesador) que mide el tiempo que demora el impulso ultrasónico del sensor de profundidad, este tiempo es expresado en bits y luego son enviados al modulador ASK y después a una antena para ser transmitidos en la banda de UHF.

La recepción es realizada por el receptor heterodino (RFRXD0420) que posee un circuito tanque configurable a la frecuencia de recepción y una frecuencia Intermedia de 10.7Mhz.

Para lograr expresar el tiempo en bits el microcontrolador RFPIC debe conocer cuando sale la señal del transmisor y cuando vuelve el primer eco al receptor del sonar. Para ello el microcontrolador RFPIC es sincronizado con la señal del transmisor

y del receptor del circuito de control del Fish Finder. La figura 5.1 muestra el diagrama de bloques de la codificación de la señal del sensor de profundidad para su transmisión.

### 5.1- CIRCUITO DEL FISH FINDER

El circuito del Fish Finder consiste de un circuito de control, un detector de tonos, un circuito de excitación y una etapa de amplificación como se ve en la figura 5.1.

El circuito de control es una caja negra donde se logró detectar la señal del transmisor figura 3.4, la señal del receptor figura 3.5 y la señal del detector de tonos.

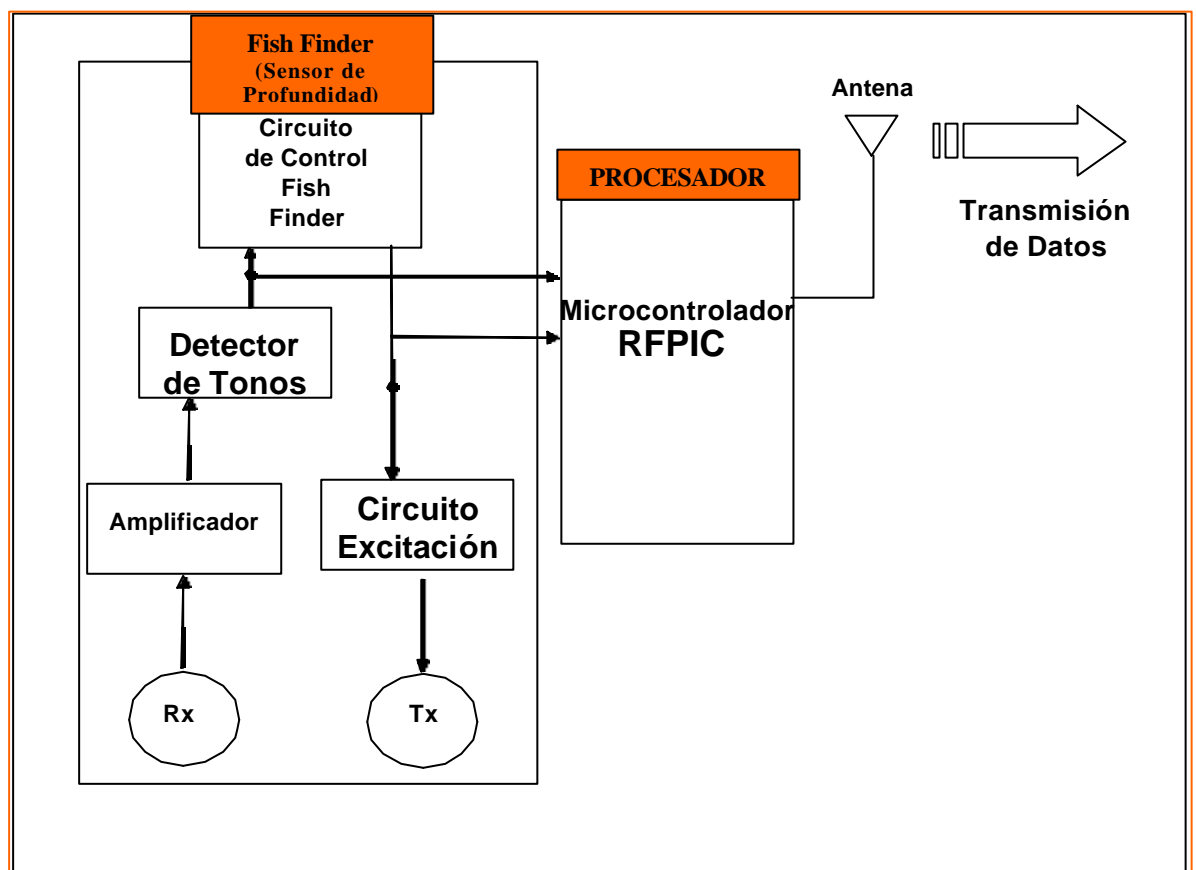


Figura 5.1- muestra el diagrama de bloques de la codificación de la señal del sensor de profundidad.

El circuito de excitación o de disparo cumple la función de elevar la tensión desde valores TTL del circuito de control del Fish Finder hasta la tensión máxima de trabajo

del transmisor del transductor. De esta forma se obtiene una mayor transmisión de energía al medio, lo que mejora la relación señal ruido en el receptor ultrasónico, y disminuye la ganancia necesaria en la etapa receptora.

La señal que proviene del receptor, una vez amplificada, ingresa al circuito de detección de tonos (más información en el **anexo 3**). Un circuito de detector de tonos básicamente es un integrado que posee internamente un PLL (Phase Locked Loop) y un detector de fase en cuadratura el cual responde con un nivel lógico bajo cuando la señal de entrada al integrado coincide con la frecuencia central de enganche del PLL.

En nuestra aplicación la frecuencia de trabajo es de 200KHz. Las siguientes graficas muestran las señales del receptor (antes del detector de tonos) y la señal después del detector de tonos tomadas en un osciloscopio. Se puede observar la señal del receptor de color rosado y la señal de salida del detector de tonos la de color celeste. Vemos que la señal del detector de tonos cambia de un nivel lógico 1 a un nivel lógico 0. Esto quiere decir que cuando la señal del receptor esta a 200KHz la salida del detector de tonos está un nivel lógico 0 (flechas rojas). Esta medida es para una profundidad de 70 cm.

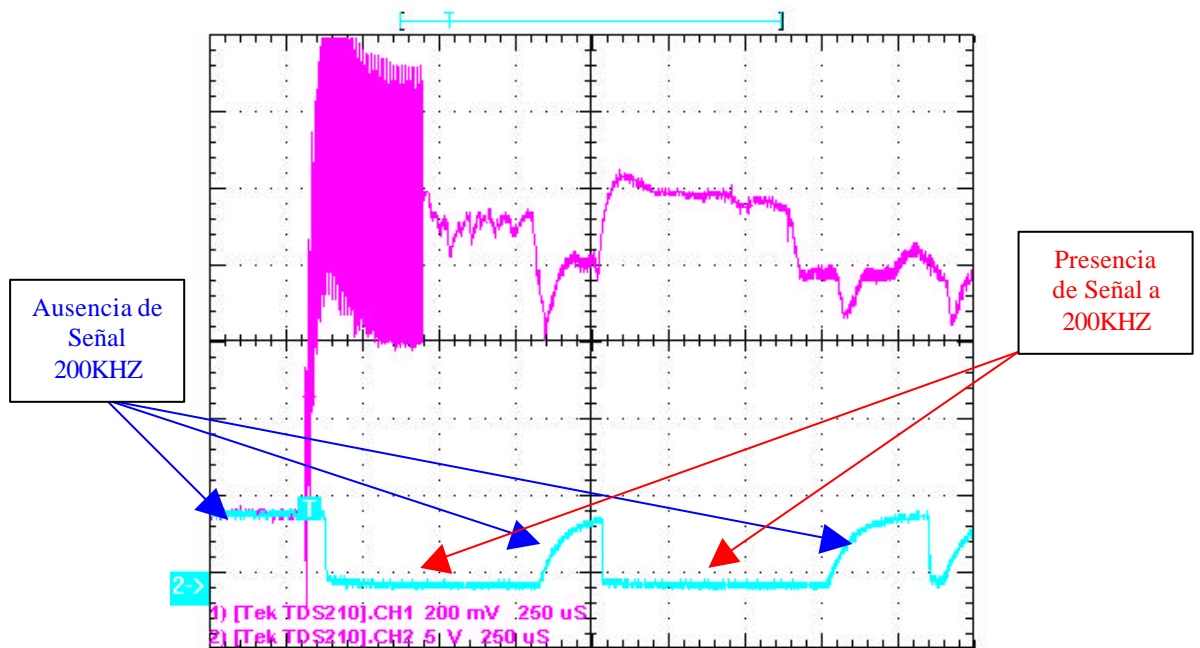


Figura 5.2- muestra la señal del receptor del sensor de profundidad, la segunda señal es la salida del detector de tonos.

La señal del detector de tonos al comienzo está en nivel lógico 1 por que la frecuencia es diferente a 200KHz, después se pone a 0 porque la señal está a 200KHz producto de que comenzó la transmisión (transmisor y receptor dentro del transductor) luego sube por un corto tiempo a un nivel 1 debido ya que no existe señal a 200KHz luego la señal cae 0 porque llegó el primer eco. La señal del detector de tonos se demora aproximadamente 1 milisegundo en ponerse a un nivel lógico 0 por segunda vez.

La figura 5.3 muestra la medida para una profundidad de 80 cm. Se observa que la señal del Detector de Tonos se demora 136.7 microsegundos mas en ponerse a un nivel lógico 0 por segunda vez. Los 136.7 microsegundos equivalen a los 10 cm de profundidad.

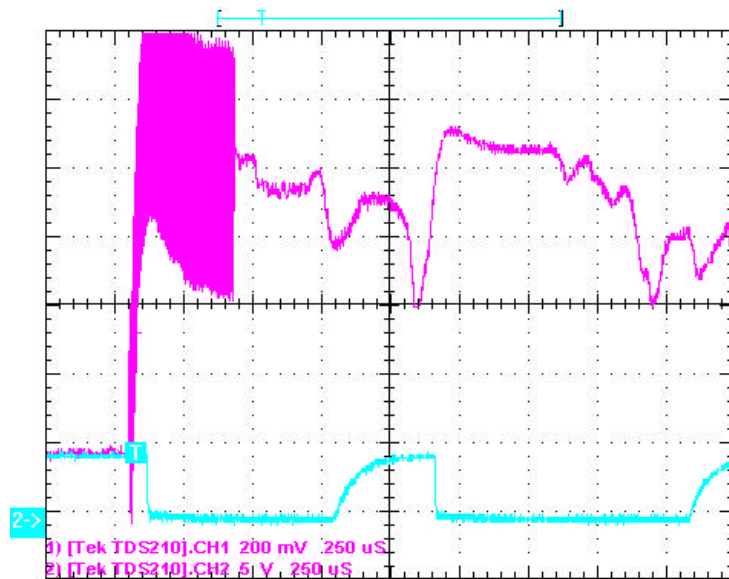


Figura 5.3 muestra la medida para una profundidad de 80 cm.

La figura 5.4 muestra la medida para una profundidad de 90 cm. Se observa que la señal del Detector de Tonos se demora más tiempo en ponerse a un nivel lógico 0 por segunda vez.

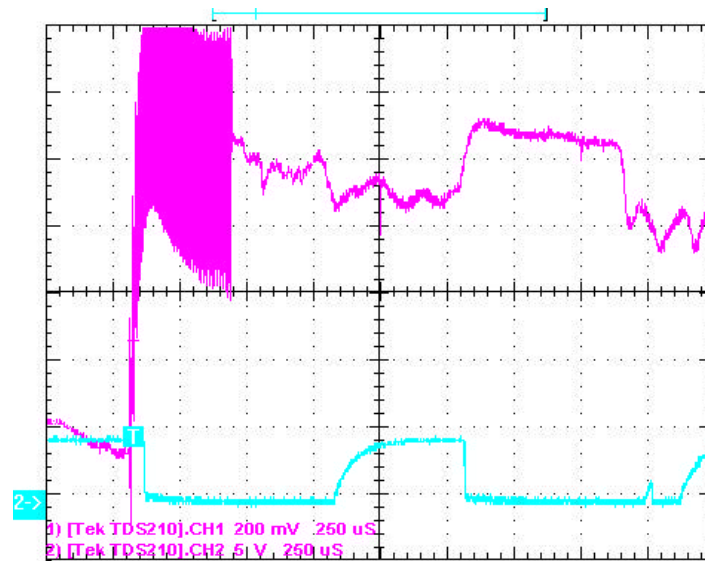


Figura 5.4 muestra la medida para una profundidad de 90 cm.

La figura 5.5 muestra la medida para una profundidad de 1 metro. Se observa que la señal del Detector de Tonos se demora mas tiempo en ponerse a un nivel lógico 0 por segunda vez.

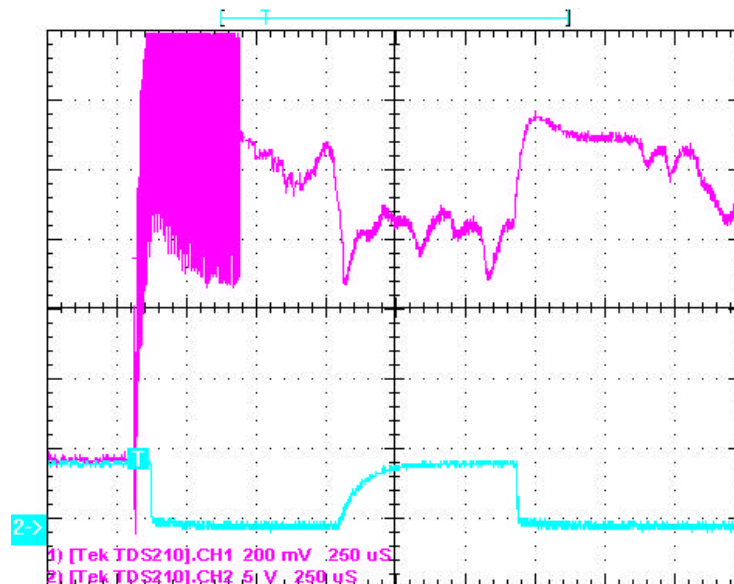


Figura 5.5 muestra la medida para una profundidad de 1 metro.

La figura 5.6 muestra la medida para una profundidad de 1.1 metro. Se observa que la señal del Detector de Tonos se demora mas tiempo en ponerse a un nivel lógico 0 por segunda vez.

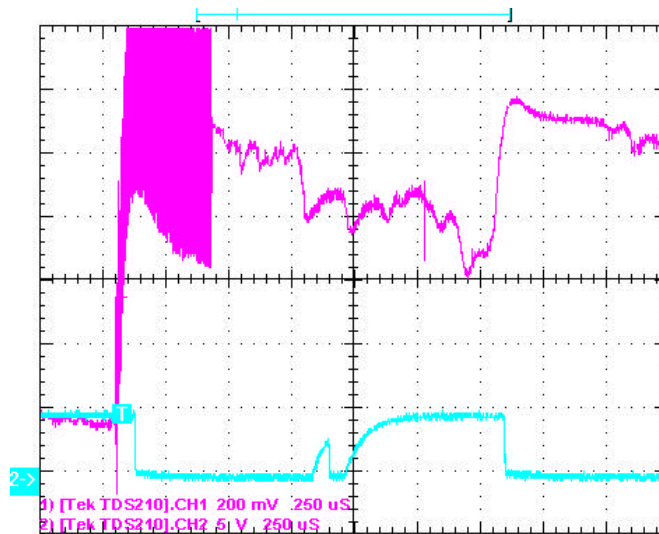


Figura 5.6 muestra la medida para una profundidad de 1.1 metro.

La figura 5.7 muestra la medida para una profundidad de 1.3 metro. Se observa que la señal del Detector de Tonos se demora mas tiempo en ponerse a un nivel lógico 0 por segunda vez.

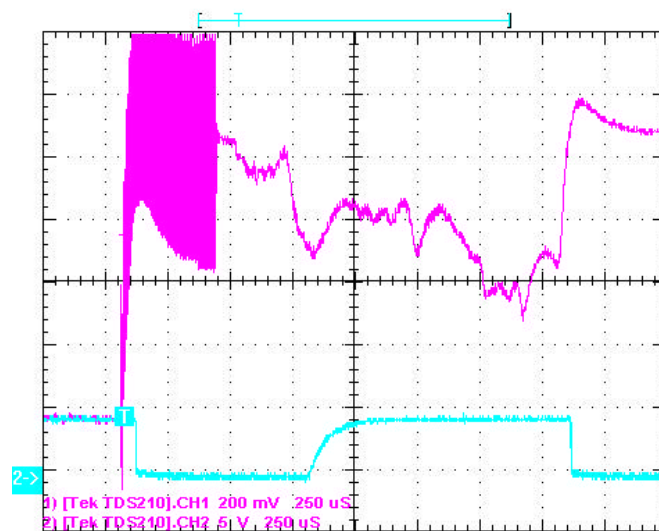


Figura 5.7 muestra la medida para una profundidad de 1.3 metro.

La figura 5.8 muestra la medida para una profundidad de 1.5 metro. Se observa que la señal del Detector de Tonos se demora mas tiempo en ponerse a un nivel lógico 0 por segunda vez.

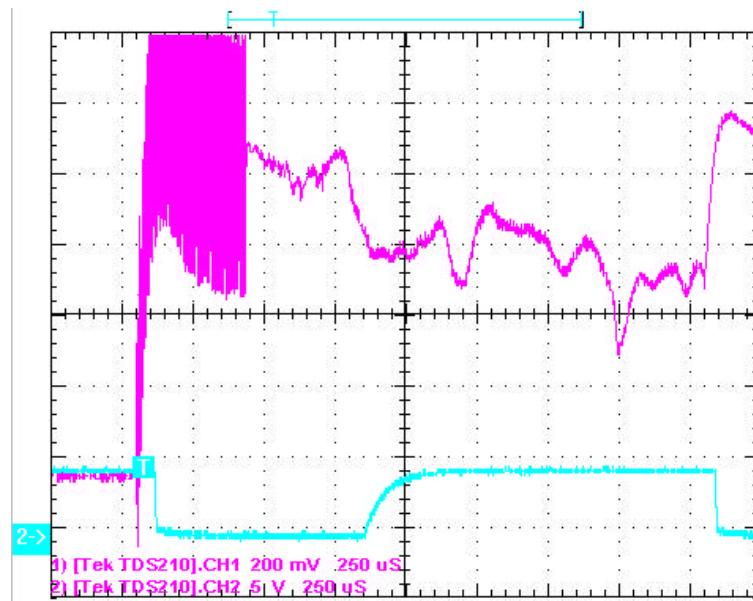


Figura 5.8 muestra la medida para una profundidad de 1.5 metro.

## 5.2- CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR

El microcontrolador RFPIC para saber el tiempo que demora en ir y regresar el impulso ultrasónico debe medir el tiempo desde que la señal de transmisión sale hasta que la salida del detector de tonos cambie a un nivel lógico 0 por segunda vez. De esta forma el microcontrolador RFPIC podrá convertir la variable medida (tiempo) en bits y llevarlo al transmisor de Radio Frecuencia para luego enviarlo al Receptor en la orilla.

## 5.3- CRITERIO DE DISEÑO PARA LA CODIFICACIÓN

De acuerdo a la hoja de especificaciones del Fish Finder (**anexo 2**) la profundidad mínima es de 3 pies o 90cm aproximadamente. Se ha ajustado la profundidad mínima hasta donde el transductor nos permita que es 2 pies o 70 cm. Por lo tanto debajo de los 70 cm el RFPIC lo leerá como cero.

En el capítulo anterior vimos la tabla 3.1 donde la profundidad cada 10cm varía en tiempo 136.7 microsegundos, por lo tanto para nuestro diseño se cree conveniente



medir la profundidad cada 10cm, donde la primera cuenta será por debajo de los 70cm. La Tabla 5.1 Muestra la variación de la profundidad con respecto a los bits, donde la última profundidad de 26.1m nos codificará como un byte de 11111111.

Profundidad	BITS
Menor a 70cm	00000000
70cm	00000001
80cm	00000010
90cm	00000011
1m	00000100
1.1m	00000101
1.2m	00000110
1.3m	00000111
1.4m	00001000

Tabla 5.1

Estos bits son almacenados en un registro de 8 bits del RFPIC por lo tanto la profundidad máxima para este diseño será de  $60\text{cm} + 255 \times 10\text{cm}$  que es igual a 26.1 metros. A continuación vamos a detallar el algoritmo del programa del RFPIC.

#### 5.4- PROGRAMA QUE CONVIERTE LA PROFUNDIDAD EN BITS

El programa se realizó en el software MPLAB, este software se descarga en forma gratuita de la página Web de la empresa Microchip.

## ETAPA DE CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR DE PROFUNDIDAD, TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN

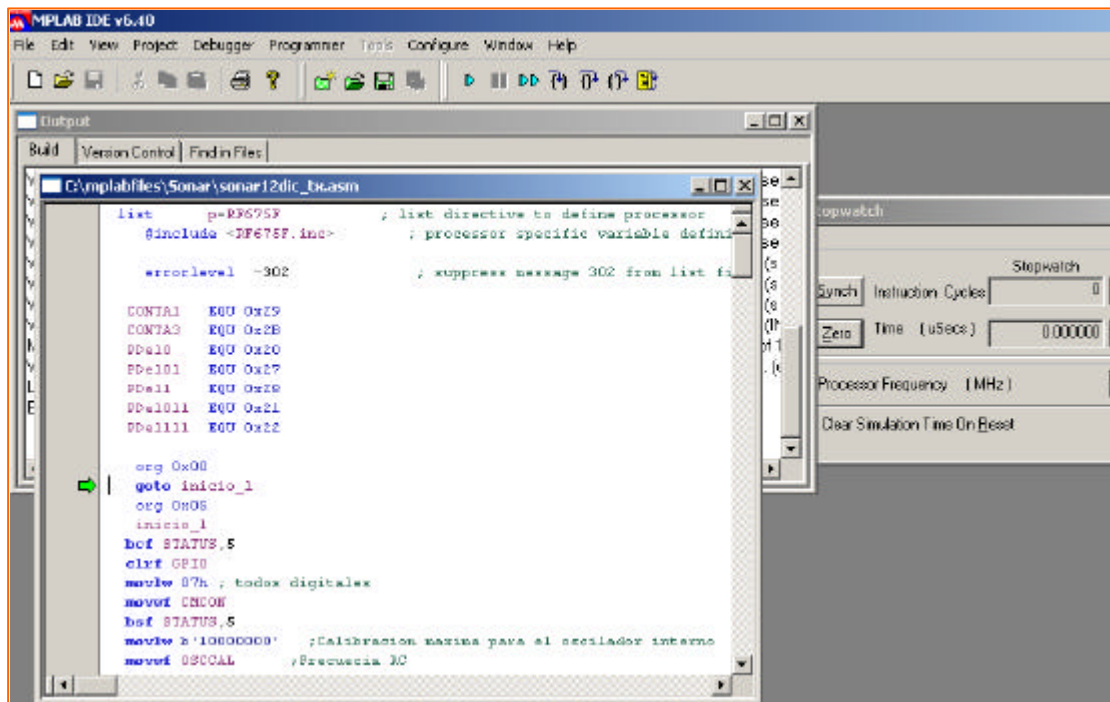


Figura 5.9- muestra el entorno del software

Al comienzo del programa se declaran las variables y contadores a utilizarse. Los contadores CONTA1 y CONTA3 son de mucha importancia. El contador CONTA1 almacena la profundidad en Bits y CONTA3 nos sirve para enviar 5 veces el mismo dato.

Luego se configuran los puertos GPO0 y GPO3 como entradas, GPO2 y GPO5 como salidas. Después se calibra el oscilador interno del microcontrolador.

El programa principal comienza cuando el puerto de entrada GPO0 comienza a explorar la señal del transmisor del sonar y entrará a este bucle hasta que detecte la señal. Una vez detectada esta señal el microcontrolador RFPIC hace un retardo de 960 microsegundos, inmediatamente después el microcontrolador RFPIC comienza a explorar el puerto de entrada GPO3 que es la salida del detector de tonos, si esta señal tiene un nivel lógico uno, el programa hará un retardo de 136 microsegundos que es equivalente a 10cm de profundidad e incrementará el registro CONTA1 y volverá a explorar el puerto de entrada GPO3 y así sucesivamente hasta que esta señal cambie a un nivel lógico cero. Cuando llegue el primer eco el puerto GPIO3 tendrá un nivel lógico cero y el programa estará listo para enviar el valor de

CONTA1 al transmisor ASK por el puerto GPIO2. El valor de CONTA1 se envía 5 veces por razones que se explicarán mas adelante. Antes de cada envio de CONTA1 se enviará una señal de sincronismo. Una vez que se sale el último envio de CONTA1 el programa retorna al comienzo. El programa **sonar12dic\_tx.asm** se encontrará en el **Anexo 7**. La siguiente figura muestra el diagrama de flujo del programa.

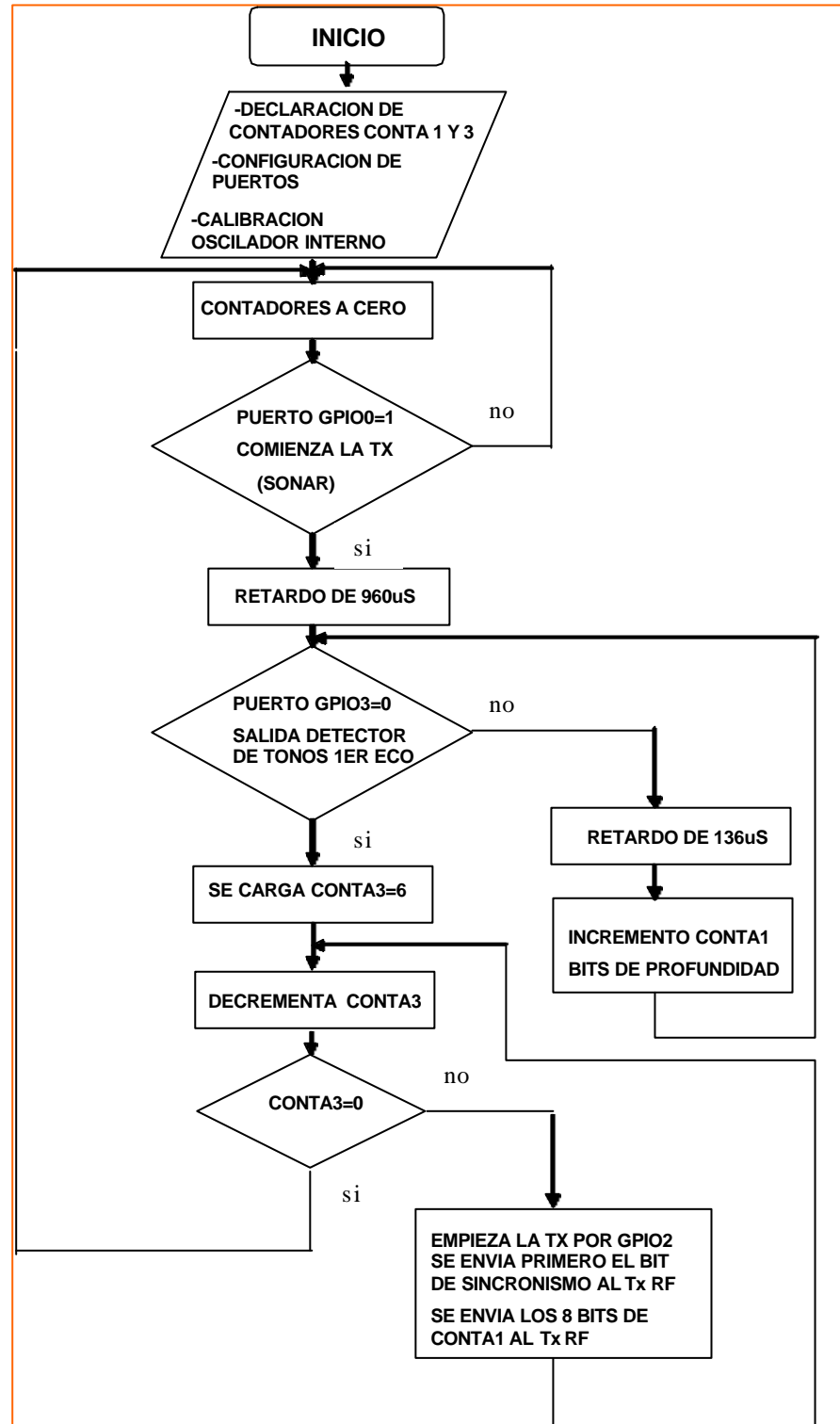


Figura 5.10- muestra el diagrama de flujos del programa que convierte la profundidad en bits.

### 5.5- CRITERIO DE DISEÑO PARA LA TRANSMISIÓN

Se mencionó anteriormente que antes de enviar el byte de CONTA1 se enviará una señal de sincronismo, en otras palabras se enviará 5 veces la señal de sincronismo y el byte de dato. La señal de sincronismo sirve para que el receptor entienda cuando llega un byte de datos. Se envía cinco veces el Byte de datos para disminuir el error en el receptor, ya que el microcontrolador del receptor posee un algoritmo para minimizar los errores. El bit de sincronismo es un nivel alto que dura 6milisegundos y cada bit del byte de datos dura 4milisegundos.

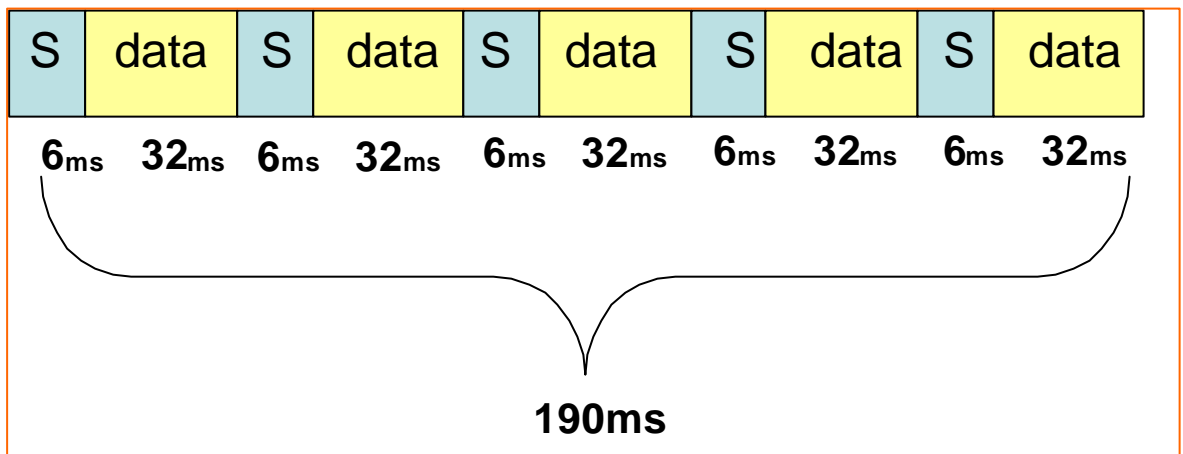


Figura 5.11- muestra el tiempo total del envío.

En el capítulo 3 se mencionó que el período de medición de profundidad del Sonar es de 268 milisegundos. La profundidad máxima en el diseño de la codificación es de 26.1m lo que equivale en tiempo a 35.5 milisegundos por la ecuación:

$$\text{Profundidad} = \left( \frac{\text{Velocidad del Sonido} (H_2O) \times \text{Tiempo del Eco}}{2} \right)$$

Por lo tanto para una profundidad máxima el tiempo máximo estará dado por:

$$190ms + 35.5ms = 225.5ms$$

Este tiempo es menor a 268 milisegundos y no sobrepasa al período de medición de profundidad ni se perderá ningún dato.

La siguiente figura muestra la señal codificada que sale por el puerto GPIO2 para profundidades desde 60cm hasta 1.4 metros medidas en un pozo de agua con el osciloscopio digital del Instituto de Investigación de la Facultad (Tektronix TDS 210).

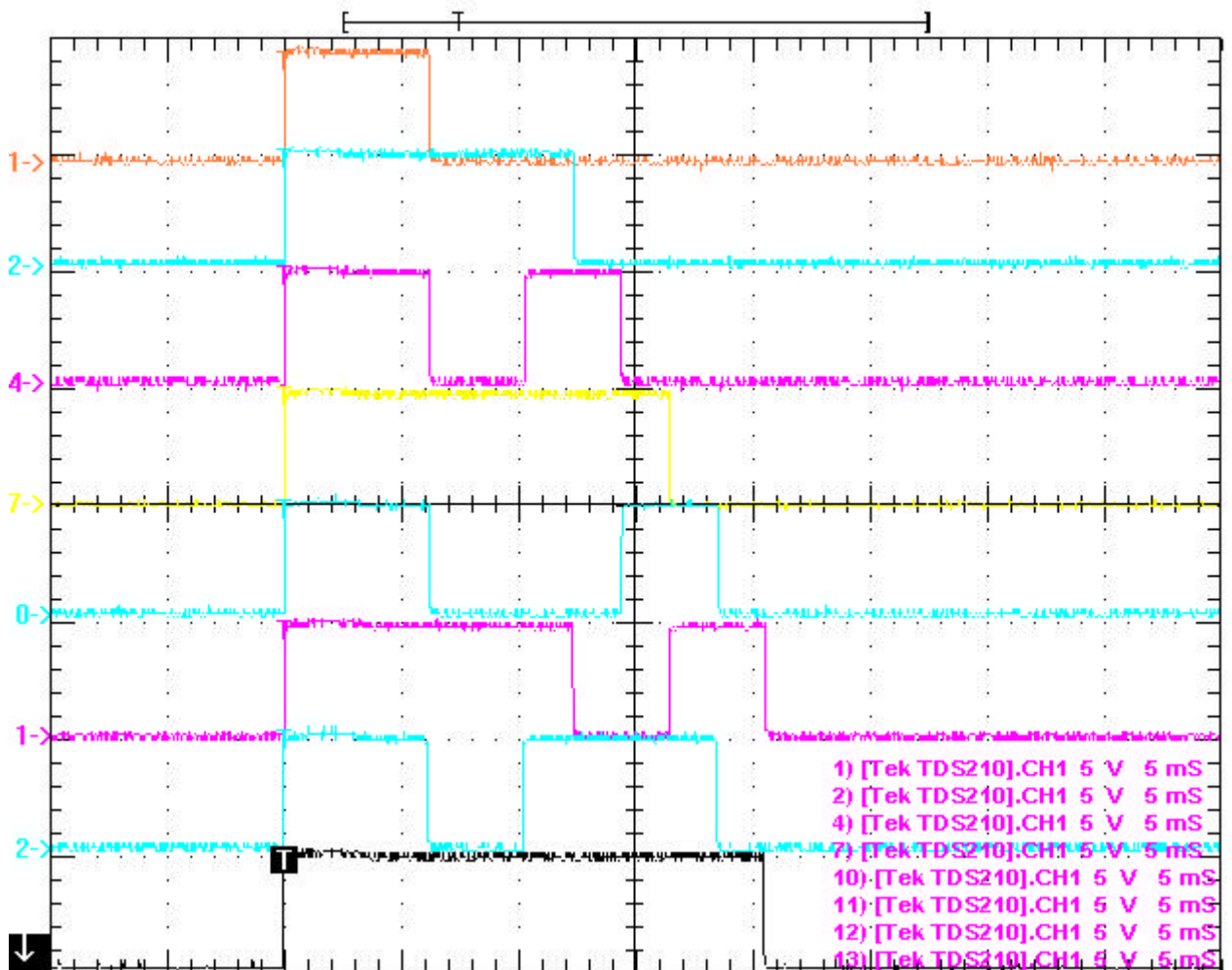


Figura 5.12- muestra la profundidad expresada en Bits.

En la primera medida solo se muestra la señal de sincronismo ya que la profundidad es 60cm que equivale a cero (byte 00000000). La segunda medida se ve la señal de sincronismo con el segundo byte 00000001, en la tercera medida se ve a la señal de sincronismo con el byte 00000010 y así sucesivamente. Vemos que la última medida se muestra la señal de sincronismo más el byte 00000111.

## 5.6- FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN

Para realizar un enlace de radiofrecuencia es muy importante conocer la frecuencia de transmisión. La frecuencia de transmisión está ligada a la ecuación (23):

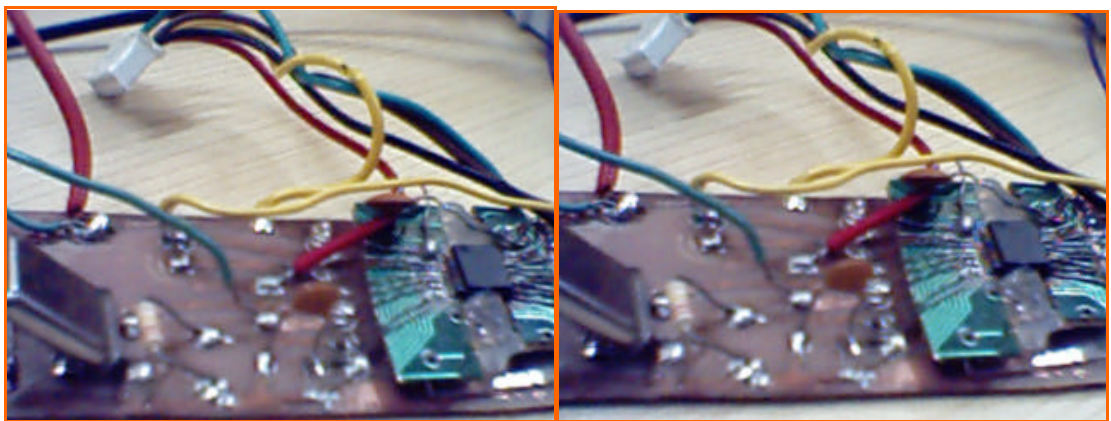
$$F_{tx} = F_{RFX TAL} \times 32$$

Por lo tanto la transmisión se realiza a 433.92 MHz porque se utiliza un cristal de cuarzo de 13.56MHz.

## 5.7- MÓDULO DEL TRANSMISOR DEL RFPIC

Luego de codificar la señal del sensor de profundidad y de llevarla al transmisor debemos de solucionar un problema antes de enviarla. Este problema básicamente es el ajuste de impedancia del RFPIC con la antena y filtrar el armónico. El ajuste de impedancia nos permite irradiar al espectro radioeléctrico con la máxima potencia, con lo cual el radio de alcance de la señal será máximo.

Para esto se implemento el modulo transmisor llegando a cubrir una distancia de 8 metros. Con el analizador de espectros del laboratorio se pudo observar la frecuencia de transmisión central 433.92 MHz. La figura siguiente muestra el circuito implementado.



*Figura 5.13- muestra dos fotos del modulo del transmisor del RFPIC en forma artesanal.*

Con los dispositivos implementados de manera artesanal (como son las bobinas), además de una mala placa impresa (la cual puede ser mejorada si se utiliza los equipos adecuados) y soldaduras indeseables causaron la atenuación de la señal perjudicando la transmisión. Además que a frecuencias UHF se requieren condensadores y bobinas de bajos valores los cuales son escasos de conseguir comercialmente en nuestro país, las bobinas se pueden implementar y probar con equipos (no existentes en el laboratorio de la facultad) que trabajen a altas frecuencias. Estos son las razones por la que no había una máxima transferencia de potencia a la antena lo cual no podía cubrir una mayor distancia.

Posteriormente se hicieron pruebas con el mismo circuito transmisor implementado de manera comercial (ver figura 5.14), llegándose a realizar pruebas de campo obteniendo distancias de cobertura de hasta 70 metros.



*Figura 5.14- muestra el modulo del transmisor del RFPIC en forma artesanal.*

Por este motivo se ha creído conveniente utilizar el modulo comercial para realizar las pruebas del sistema final. La potencia 10dBm que irradia la antena de lazo circular de este módulo es la adecuada para realizar una transmisión sin necesidad de permisos al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones por concepto de uso de espectro.





Figura 5.15- muestra el diagrama esquemático del modulo del transmisor del RFPIC.

La figura 5.15 muestra el diagrama esquemático del RFPIC. Como se mencionó antes la señal del transmisor del sonar entra por el puerto GPIO0 (pin 19), la señal del detector de tonos entra por el puerto GPIO3 (pin 4). Luego de la codificación los bits de datos son sacados por el puerto GPIO2 (pin 17), este a su vez está conectado con DATAASK (pin 14). DATAASK es la entrada del transmisor y es habilitado cuando RFEN esta en un nivel alto. Como RFEN está conectado a V+ el transmisor siempre estará encendido. X1 es el cristal de cuarzo de 13.56MHz y fija la frecuencia de transmisión 433.92MHz. PS (pin 8) esta al aire para que el transmisor entregue la máxima potencia de 10dBm. L1, R9, C4, C5 y C6 sirven para eliminar los armónicos y adaptar la impedancia. Con todos estos detalles la señal codificada viaja por el espacio radioeléctrico, esperando que un receptor capture dicha señal.

## 5.8- RECEPCIÓN DE LA SEÑAL CODIFICADA

La recepción de la señal codificada se hace a través del receptor heterodino RFRXD0420 luego esta señal pasa al microcontrolador 12F675 (este microcontrolador tiene las mismas características que el RFPIC12F675 menos el transmisor UHF) y se encargará de minimizar los errores y acondicionar la señal para enviarla a una computadora.

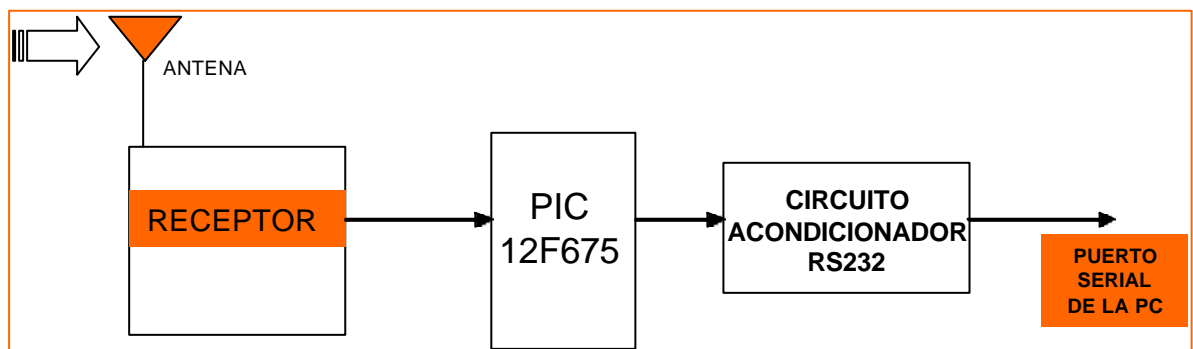


Figura 5.16- muestra el diagrama de bloques de la recepción de la señal codificada del sensor de profundidad, su acondicionamiento para el envío a la Computadora.

### 5.9- APLICACIÓN DEL RFRX0420 Y MÓDULO DEL RECEPTOR RFRX0420

La frecuencia de recepción es fijada por un cristal de cuarzo (Fxtal) y una frecuencia intermedia IF.

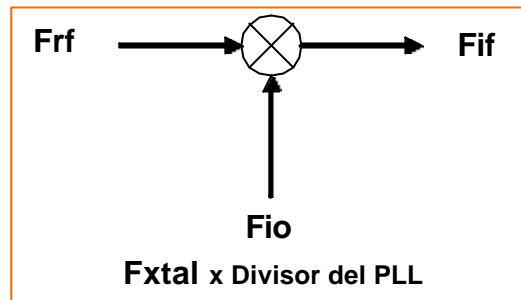


Figura 5.17- muestra la relación de la frecuencia de transmisión con la frecuencia intermedia.

Para mejor entendimiento de esta sección se puede consultar al **anexo 1**.

El cálculo del valor de Fxtal está dado por:

$$F_{xtal} = \frac{(433.92\text{MHz} - 10.7\text{MHz})}{16} = 26.451\text{MHz}$$

El cálculo del oscilador local (Fio) usando Fxtal está dado por:

$$F_{io} = 26.451\text{MHz} \times 16 = 423.22\text{MHz}$$

El cálculo de la frecuencia imagen está dada por:

$$F_{rf\_imagen} = 433.92\text{MHz} - (2 \times 10.7\text{MHz}) = 412.52$$

Esta frecuencia imagen debe ser filtrada por un preselector. El preselector tiene la función de dar un mejor rendimiento al receptor porque filtra las señales indeseadas y el ruido que entra al receptor. La señal más importante que debe ser filtrada es la frecuencia imagen. El preselector está constituido por un Surface Acoustic Wave conocido como SAW FILTER que agrega una ventaja en el filtrado del ruido y mejora la relación señal a ruido del receptor. La segunda finalidad del SAW FILTER es mejorar el arreglo de impedancias entre la antena y LNAin (pin 31). La antena del receptor es un simple alambre de longitud L que es un cuarto de la longitud de onda. El cálculo de L se hace a través de la fórmula:

$$I = \frac{c}{Frf} = \frac{3 \times 10^8 m/s}{433.92 \times 10^6 Hz} = 0.69m$$

$$\text{Sin embargo } L = 0.25I = 17.3cm$$

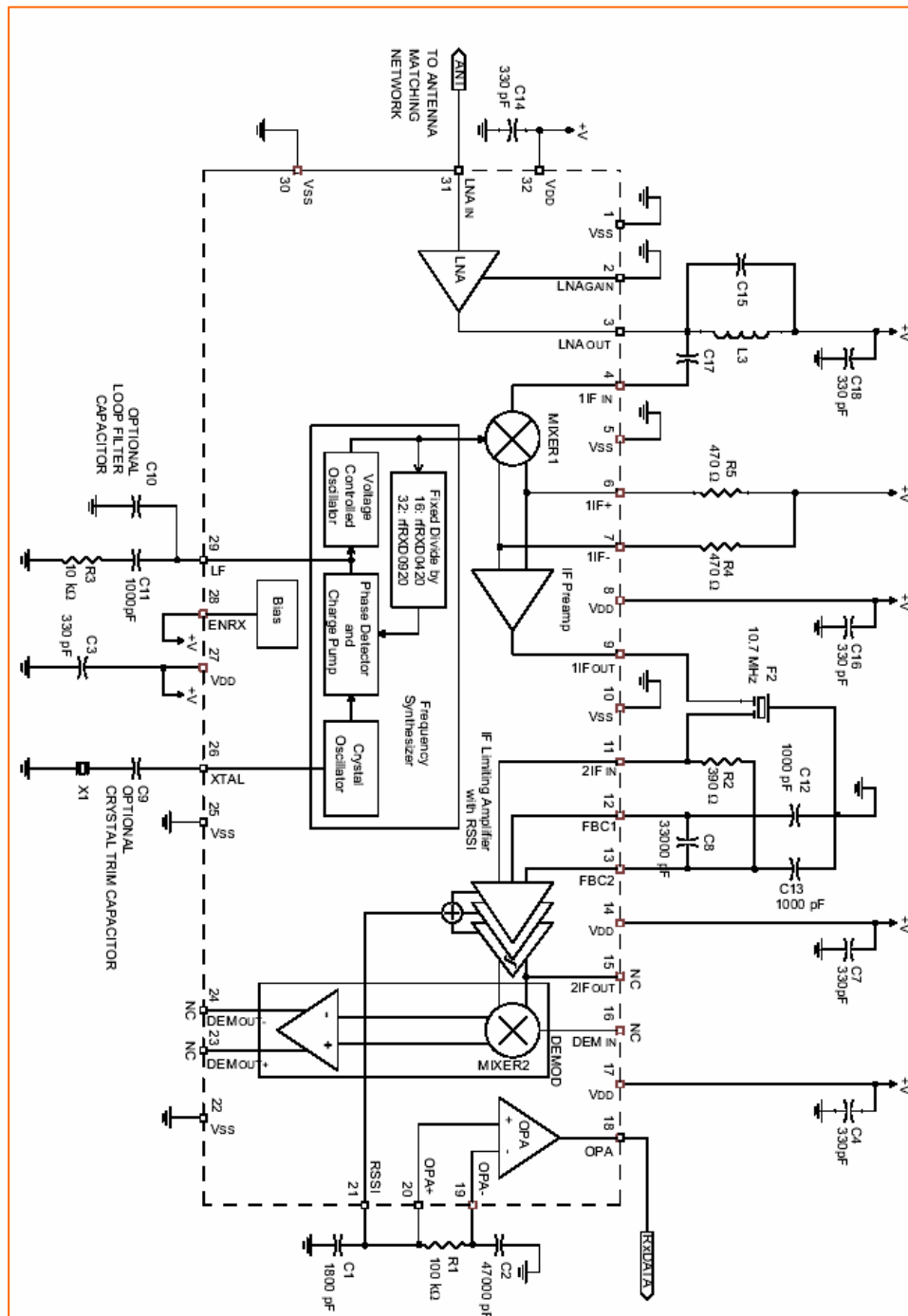
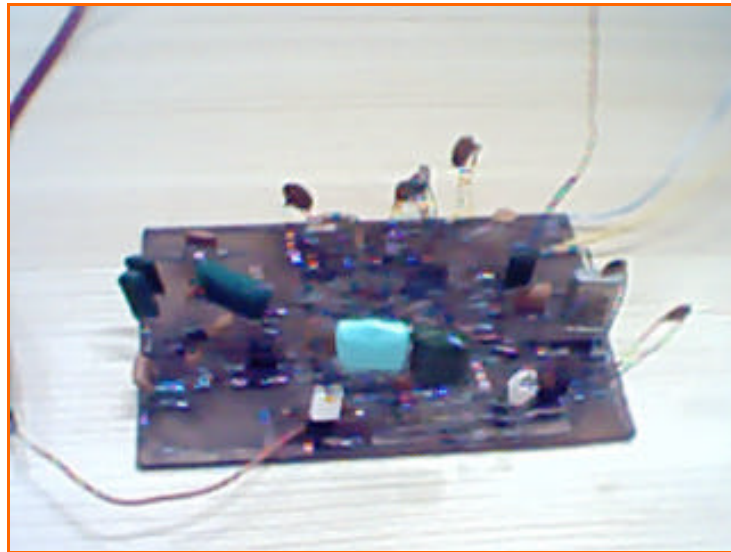


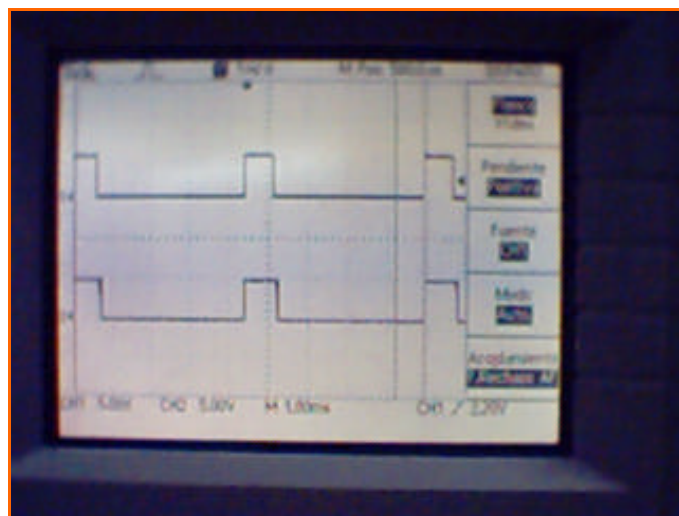
Figura 5.18- muestra el diagrama de bloques del receptor

En la siguiente figura se muestra el módulo del receptor implementado de manera artesanal. Este circuito se probó con el módulo transmisor implementado también de manera artesanal.



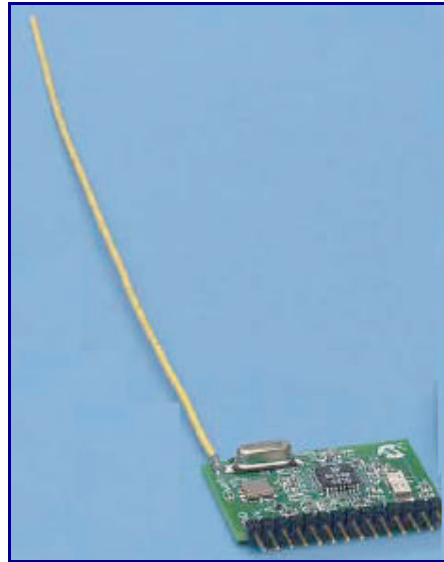
*Figura 5.19- muestra el módulo del Receptor RFRX0420 elaborado en forma artesanal.*

En la siguiente imagen se muestra la transmisión y recepción de datos digitales de los módulos artesanales a una distancia de 2 metros realizados en los laboratorios de la Facultad.



*Figura 5.20- muestra las señales de transmisión y recepción en el osciloscopio de los laboratorios de la Facultad.*

Debido a los problemas expuestos en la sección 5.7 (con respecto al módulo transmisor) se utilizó una versión comercial del módulo receptor mostrado en la figura siguiente.



*Figura 5.21- muestra el módulo del Receptor RFRX0420 elaborado en forma comercial.*

En la figura siguiente observamos la señal que se envía del RFPIC es capturada por la antena de longitud 17.3 cm. Luego esta señal entra al SAW FILTER para hacer una primera selección y también mejorar la impedancia entre la antena y la entrada del receptor.

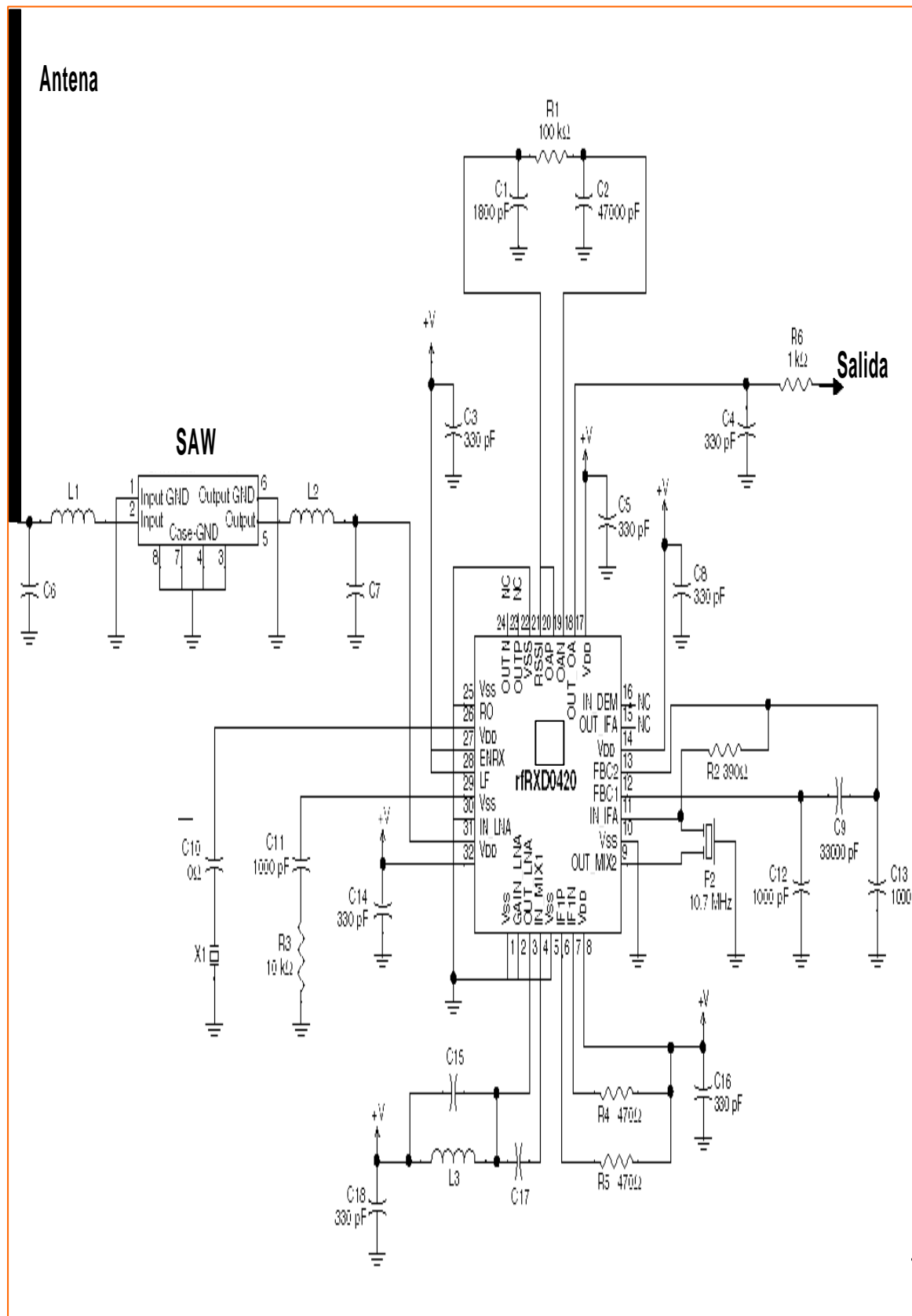


Figura 5.22- muestra circuito esquemático del RFRX0420

### **5.10- REDUCCIÓN DE ERRORES Y ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL**

Anteriormente se hablo de un criterio de diseño para la transmisión el cual nos dice que antes de enviar un byte de dato (medida de profundidad) se envía una señal de sincronismo. Esta señal de sincronismo mas el byte de dato se envían cinco veces, por lo tanto, se tendrá cinco veces la misma profundidad. Por causas de las diversas clases de ruido estas cinco repeticiones de una medida no siempre serán iguales por lo tanto con un algoritmo de reducción de errores usando probabilidades podemos seleccionar de estas cinco medidas que valor se repite mas y así discriminar los datos erróneos. Después de obtener la repetición de la medida con mayor probabilidad, esta debe ser acondicionada para enviarla al puerto serial de una PC. De toda esta labor se encargará el microcontrolador PIC12F675.

### **5.11- CRITERIO PARA LA DETECCIÓN DE LA SEÑAL DE SINCRONISMO**

Se indicó anteriormente que la señal de sincronismo es un nivel alto que dura 6 milisegundos y que cada bit del byte de datos dura 4 milisegundos (ver figura 5.11) .El microcontrolador PIC12F675 debe conocer estos tiempos para emplear su algoritmo. Una vez que el microcontrolador PIC12F675 detecte la señal de sincronismo sabrá que luego vienen 8 bits de 4 milisegundos.

### **5.12- PROGRAMA PARA REDUCIR LOS ERRORES Y ACONDICIONAR LA SEÑAL**

El programa también se realizó en el software MPLAB, al comienzo del programa se declaran las variables y contadores a utilizarse. En las variables DATA1, DATA2, DATA3, DATA4 y DATA5 se almacenan las cinco repeticiones de una medida de profundidad respectivamente. Los contadores CONTA0 y CONTA1 almacenan la cantidad de ceros y unos durante la exploración de un bit, los demás contadores son para el conteo de exploraciones y almacenamiento. Luego se configura el puerto GPO0 como entrada, y GPO2 como salida. Después se calibra el oscilador interno del microcontrolador.

El programa principal comienza con una primera etapa que es cuando el puerto de entrada GPO0 comienza a explorar la señal de sincronismo y entrará a este bucle



hasta que detecte un nivel lógico alto. Una vez que es detectado un nivel lógico alto el microcontrolador 12F675 explora 23 veces cada 250 microsegundos, si en todas estas exploraciones la señal estuvo en nivel lógico alto el microcontrolador dirá que ha llegado una señal de sincronismo de lo contrario no habrá llegado una señal de sincronismo.

Una vez que ha llegado la señal de sincronismo el puerto GPIO0 comenzará a explorar el byte de dato, cada bit del byte de dato se explora siete veces cada 500 microsegundos y se almacenaran en CONTA0 si tienen nivel lógico cero o en CONTA1 si tienen nivel lógico uno. Luego el microcontrolador compara el valor en CONTA0 y CONTA1 y toma como bit válido al de mayor valor y se va almacenando en el registro DATA1. De la misma forma se exploran los siguientes siete bits del byte de datos hasta que el registro DATA1 esté lleno. Esta primera etapa se repite cinco veces porque el transmisor envía cinco repeticiones por cada medida de profundidad. Por lo tanto se tendrán como resultado además de DATA1 los registros DATA2, DATA3, DATA4 y DATA5.

La segunda etapa del programa consiste en comparar estas 5 repeticiones y seleccionar la que se repite con mayor probabilidad a través de un algoritmo. Este Algoritmo se explica en el diagrama de flujos ver figura 5.19, si un valor de DATA<sub>X</sub> (donde x toma los valores de 1, 2 y 3) es igual a dos de los demás automáticamente el programa dará como valido a DATA<sub>X</sub> en caso contrario volverá al inicio del programa.

La tercera etapa del programa consiste en enviar el registro DATA<sub>X</sub> al puerto serial de la Pc a través del puerto GPIO2 del microcontrolador, para ello se usa el protocolo RS232 ver **anexo 4**. La velocidad que se envían los bits de DATA<sub>X</sub> es 9600 baudios lo que equivale a que cada bit tenga un tiempo de duración de 104.16 microsegundos. Antes del envío de DATA<sub>X</sub> se envía un bit de START en nivel lógico bajo.

Una vez que se envía este byte de dato (DATA<sub>X</sub>) el programa regresa al inicio a la espera de la señal de sincronismo de la próxima medida de profundidad. El programa **sonar12dic\_rx.asm** se describe en el **anexo 7**.

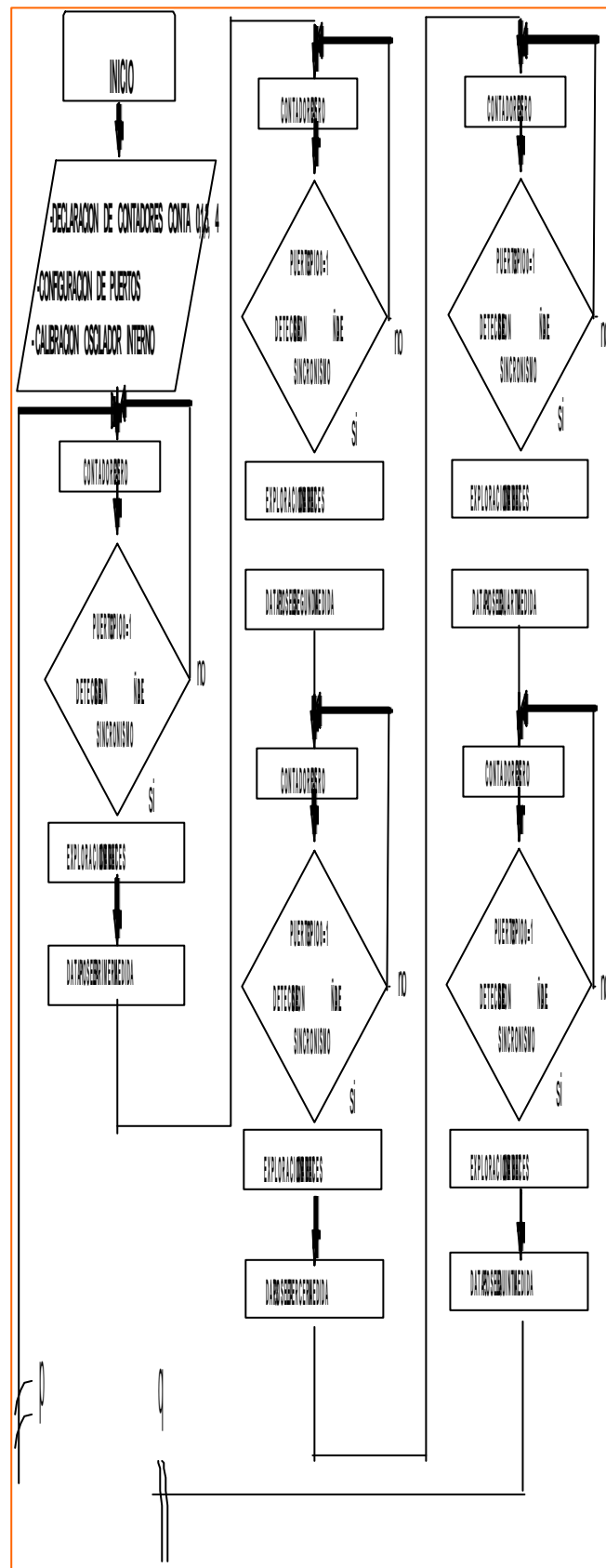


Figura 5.23.A- muestra el diagrama de flujos del programa para reducir los errores y acondicionar la señal.

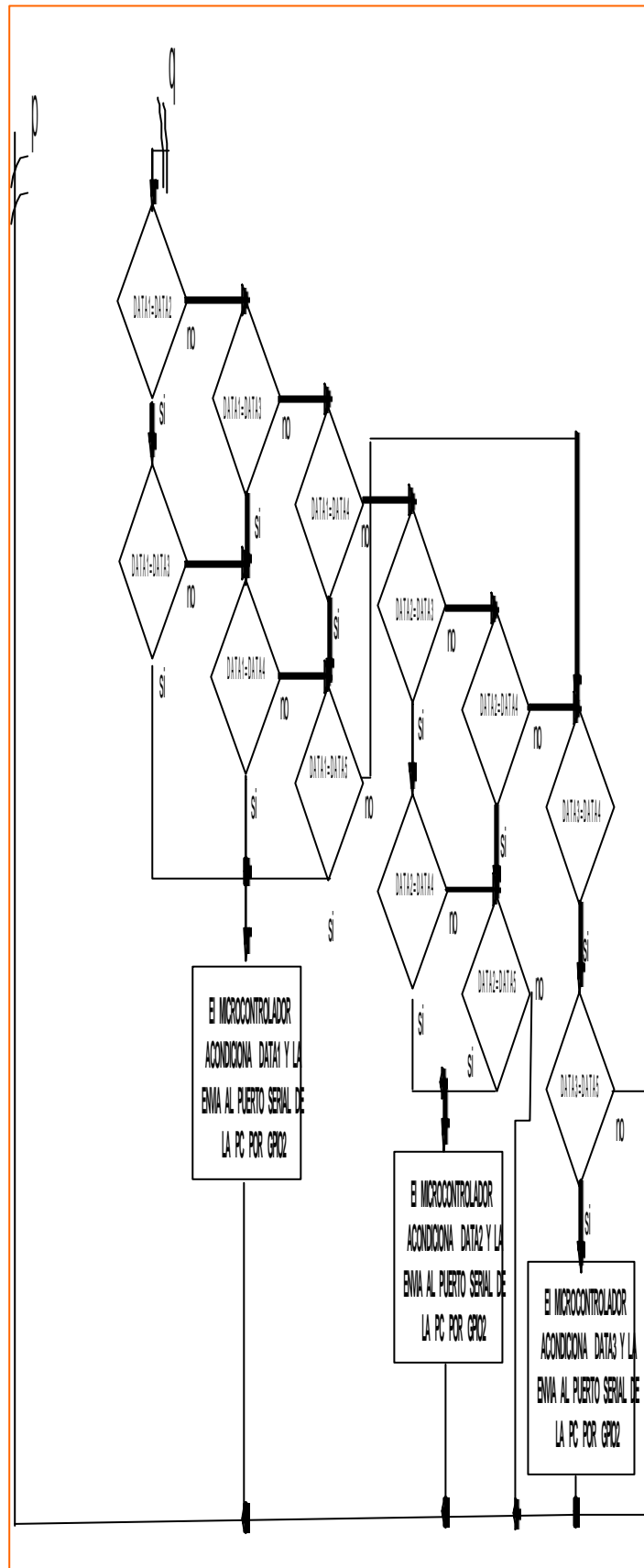


Figura 5.23.B- muestra el diagrama de flujos del programa para reducir los errores y acondicionar la señal.

### 5.13- CIRCUITO PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE NIVELES RS232

Antes de que la señal sea enviada por el microcontrolador a la PC, se necesita acondicionar y adaptar al estándar RS232. Esto lo realiza el chip MAX232 el cual cambia los niveles TTL al estándar RS232.

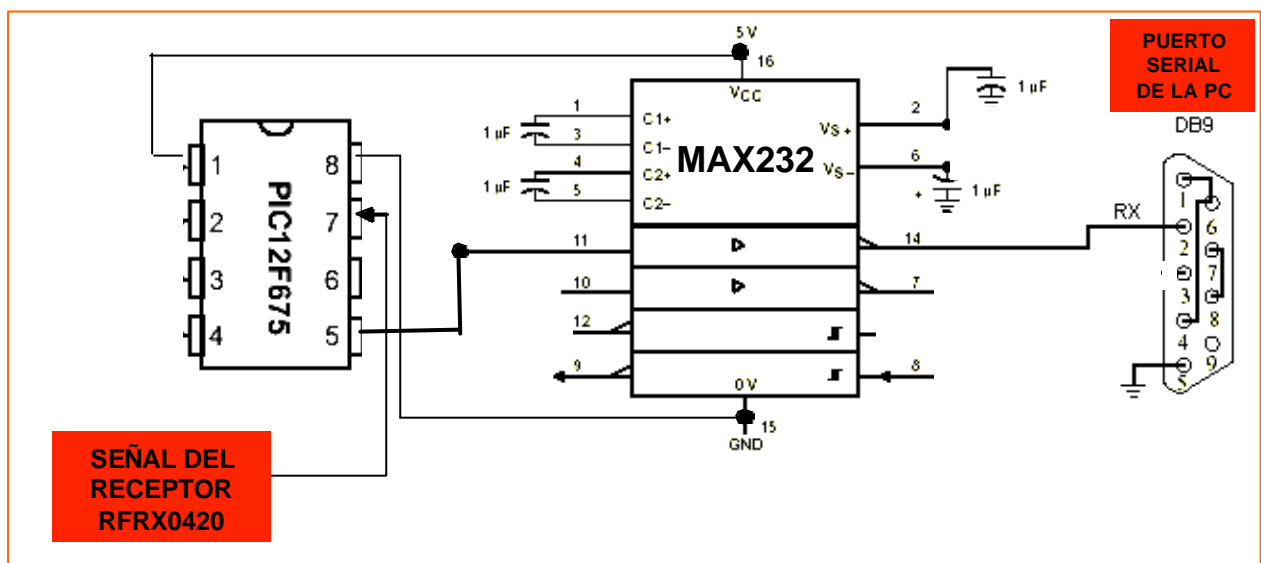


Figura 5.24- muestra el diagrama esquemático de la etapa de reducción de errores y del acondicionamiento de la señal al estándar RS232.

En el siguiente capítulo se mostrará como esta señal acondicionada entrará a la computadora para su proceso.

## CAPITULO 6

---

# ETAPA DE CAPTURA, VISUALIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

---

Los datos enviados por el microcontrolador PIC12F675 son tomados del puerto serial de la PC gracias a la aplicación desarrollada en Visual Basic. El programa toma el dato de la profundidad, grafica la profundidad y almacena este valor en una base de datos. El número de datos se configura en el programa y son recuperables gracias a que estos datos se almacenan en una base de datos de Microsoft Access.

### 6.1- CAPTURA DE DATOS

Los datos enviados al puerto serial PC son capturados gracias al objeto MSComm. El cual posee un módulo de comunicación serial. Este objeto debe ser agregado a la barra de herramientas, su información la encontrará en **anexo 5**.

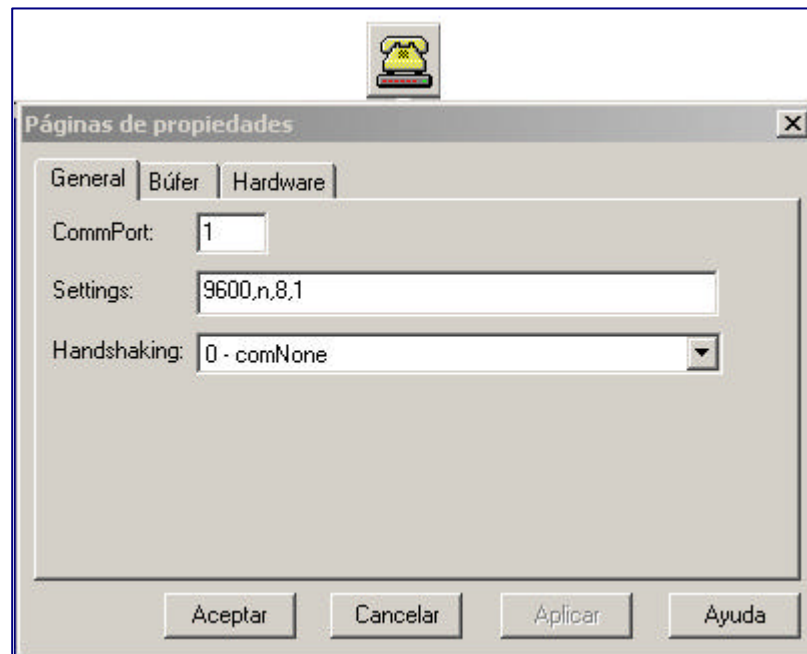


Figura 6.1- muestra las propiedades del objeto MSComm.

## 6.2- VISUALIZACIÓN Y GRAFICACIÓN DE DATOS

La gráfica de estos datos se hace a través del objeto MSCHART que también debe ser agregado a la barra de herramientas. El control MSChart está asociado con una cuadrícula de datos (objeto DataGrid). Esta cuadrícula de datos es una tabla que contiene los datos que se mostrarán en el gráfico. La cuadrícula de datos también puede incluir etiquetas para identificar las series y categorías del gráfico. Por lo tanto nosotros rellenamos la cuadrícula de datos con información de los datos capturados por el MSComm.

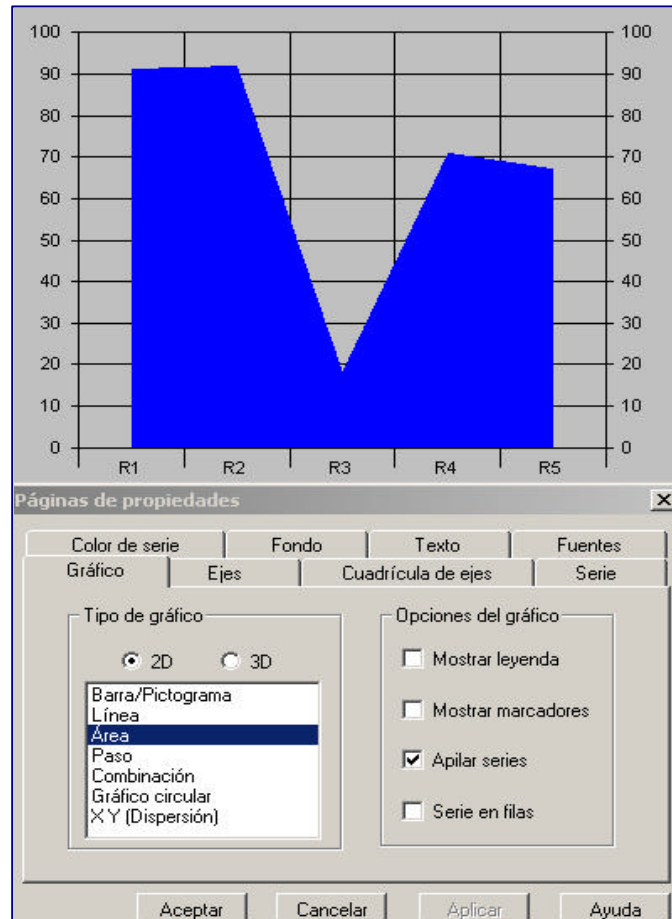


Figura 6.2- muestra las propiedades del objeto MSChart.

### 6.3- ALMACENAMIENTO DE DATOS

Los datos son guardados en una base de datos a través del objeto ADO que permite abrir la base de datos usando DLLs. La librería objeto ADO conecta e interactúa con la base de datos a través de sus objetos.

Antes de abrir la base de datos se debe hacer una conexión. Esta conexión se hace a través de un archivo de conexión UDL, el cual genera la conexión mediante ODBC.

Se utiliza lenguaje SQL para el manejo de la base de datos (insertar, eliminar consultar etc).

## ETAPA DE CAPTURA, VISUALIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

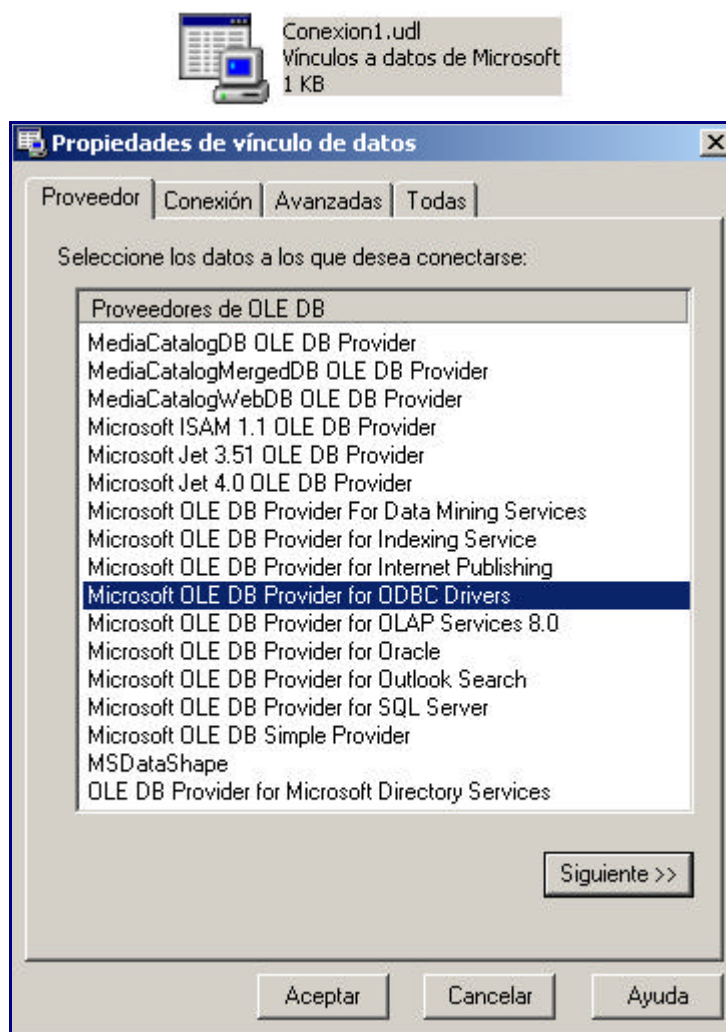


Figura 6.3- muestra una conexión UDL y el proveedor ODBC

La base de datos que se utiliza es Microsoft Access, para almacenar los datos se debe crear una tabla.



## ETAPA DE CAPTURA, VISUALIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

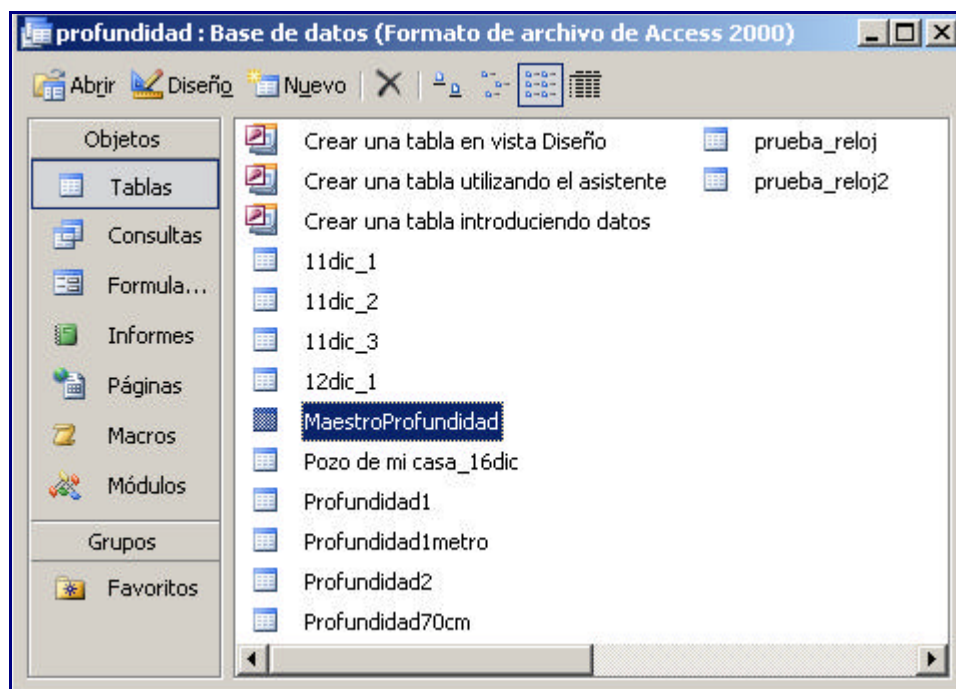


Figura 6.4- muestra una tabla maestro profundidad en Microsoft Access.

Dentro de la tabla se define los campos ID, nombre de la muestra, distancia, profundidad, fecha y la hora. Estos campos se definen con un tipo de dato.

MaestroProfundidad : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
	ID	Autonumérico
	NameMuestra	Texto
	Distancia	Número
	Profundidad	Número
	Fecha	Fecha/Hora
	Hora	Fecha/Hora

Figura 6.5- muestra los campos de la tabla maestro profundidad.

#### 6.4- PROGRAMA PARA LA MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

Esta aplicación posee un diseño integrado y se desarrolló en un entorno visual con un menú. El menú permite introducir la distancia que recorrerá el barquito (numero de muestras) y también el nombre de estas muestras. Con el botón de comando “Ver Registro” se puede ver los datos grabados en la base de datos.

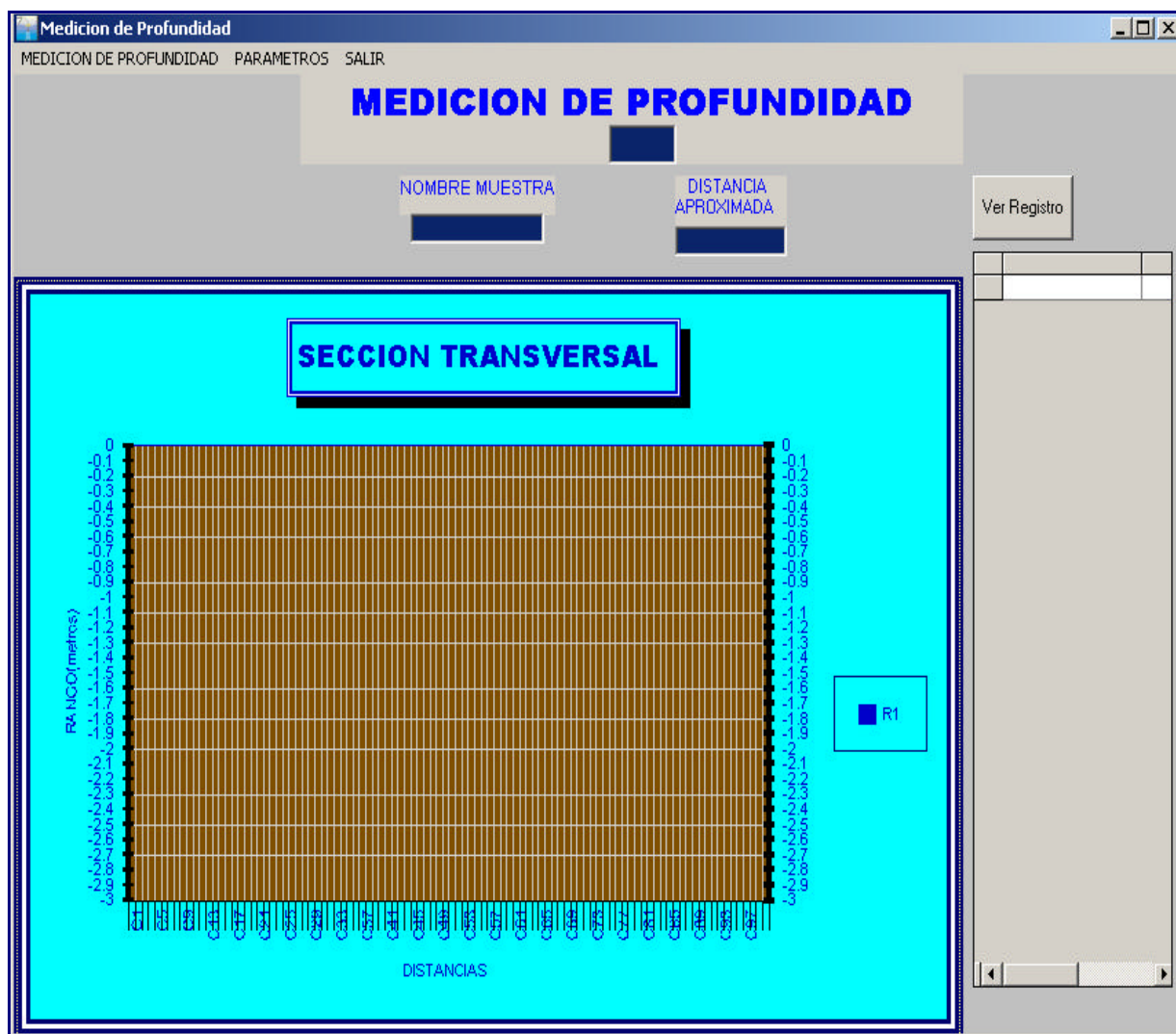


Figura 6.6- muestra el programa “Medición de Profundidad”.

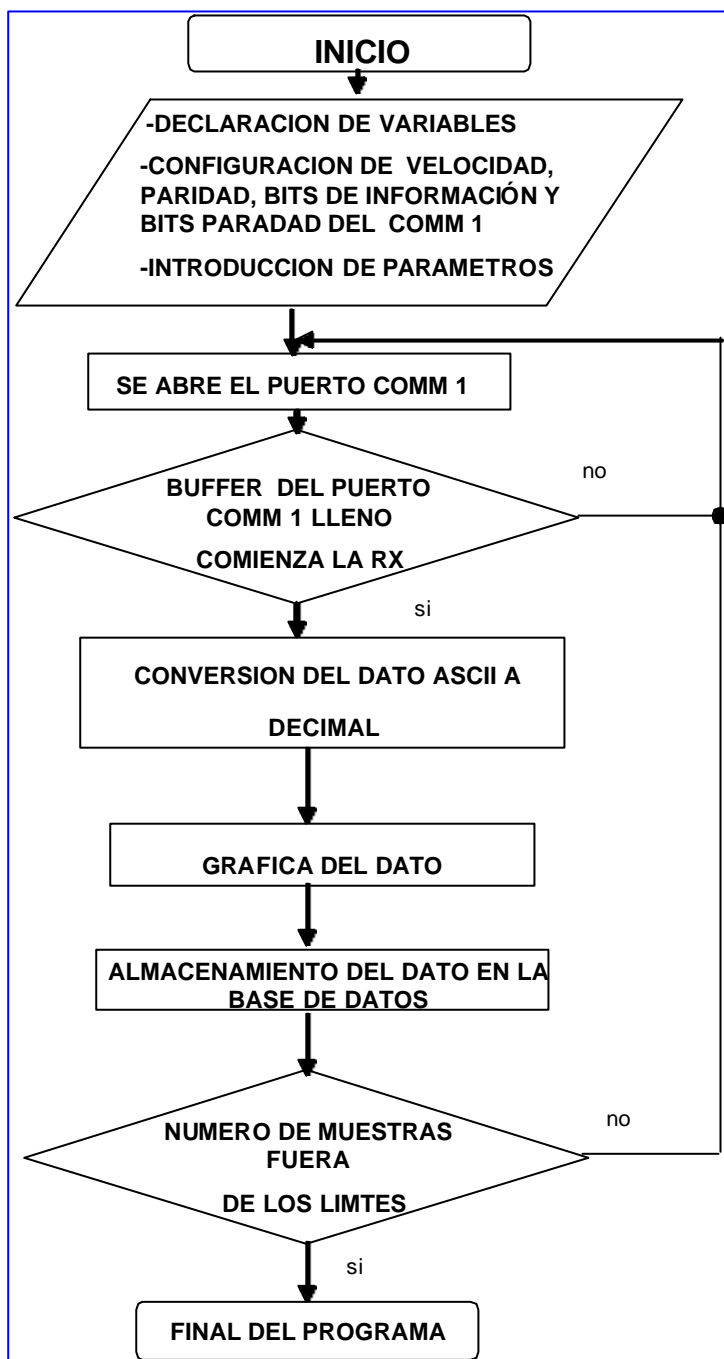


Figura 6.7- muestra el diagrama de flujos del programa medición de profundidad.

El programa **medición de profundidad** lo encontrará en el **anexo 7**.

## CAPITULO 7

---

# PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

---

### 7.1- PRUEBAS DE CAMPO

Las primeras pruebas de campo se hicieron en un pozo con profundidad máxima de 1.40 metros, donde se introdujo el transductor del Sonar pudiendo variar la profundidad desde su valor mínimo 60cm hasta 1.40 metros. Estas profundidades se midieron antes con una vara el cual marcaba las medidas. La transmisión inalámbrica de los datos se hizo a cinco metros. Todas estas mediciones se realizaron tomando 100 muestras.

## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

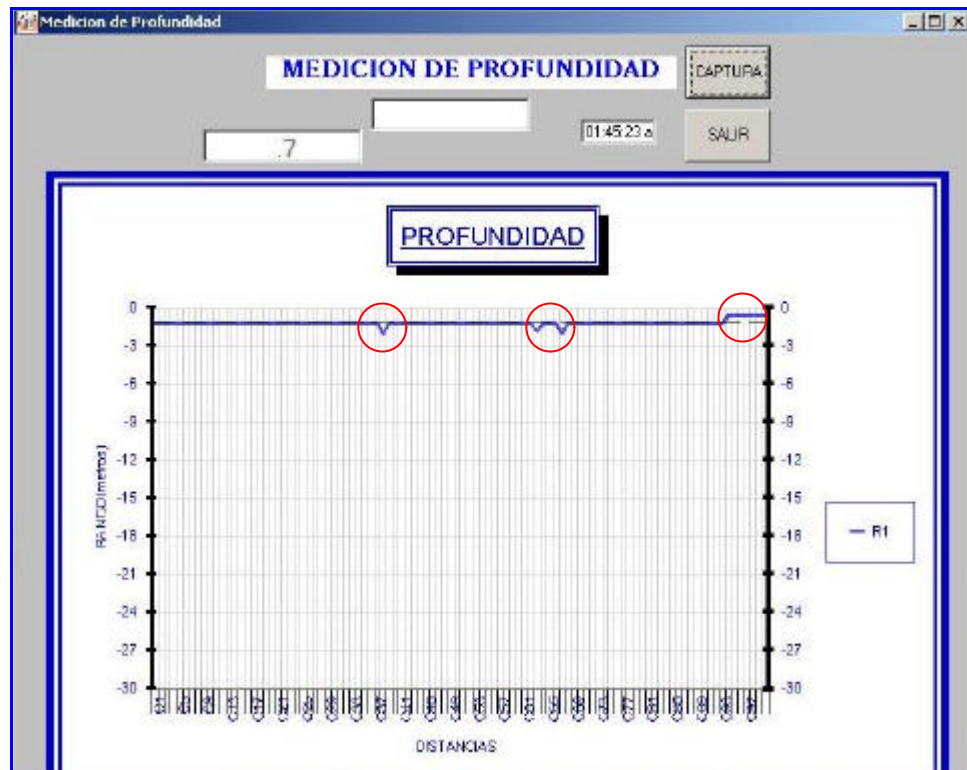


Figura 7.1- muestra la medición para 1.4metros de profundidad.

La figura nos muestra una línea azul continua que marca la profundidad de 1.4 metros, vemos que existen valores erróneos (círculos rojos). Estos datos erróneos se deben a que el sistema no tenía el algoritmo de reducción de errores. Además el tiempo de captura de cada muestra no estaba sincronizado con el circuito del Fish Finder, por lo tanto se perdían los datos.

El tiempo de captura era de 3 segundos y el circuito de Fish Finder hace mediciones cada 268milisegundos por lo tanto se perdían casi 8 datos de profundidad.

## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

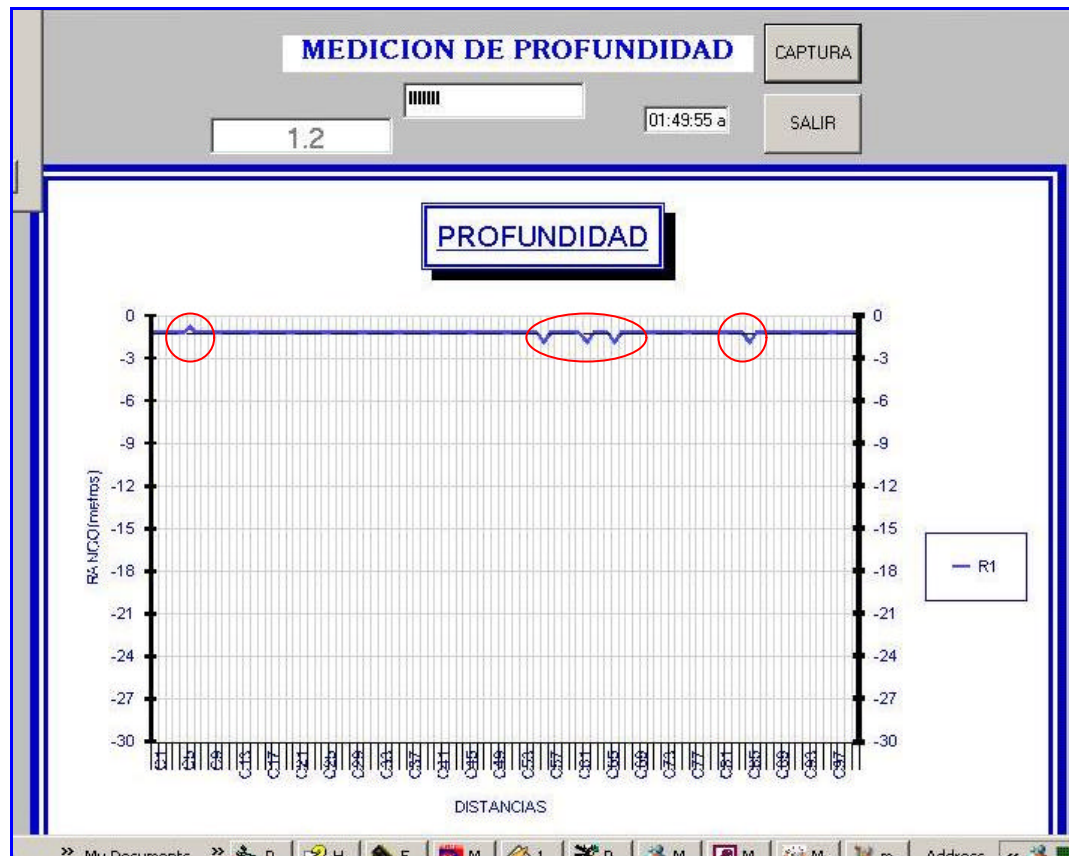


Figura 7.2- muestra la medición para 1.4metros de profundidad.

La figura nos muestra una línea azul continua que marca la profundidad de 1.2 metros, vemos que también existen valores erróneos igual que en la figura 7.1 debido a los dos problemas mencionados.

## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

Las siguientes mediciones nos muestran medidas de profundidades donde el tiempo de captura de cada muestra está sincronizado con el circuito del Fish Finder. Por lo tanto en 1 segundo se tendrá aproximadamente tres medidas.

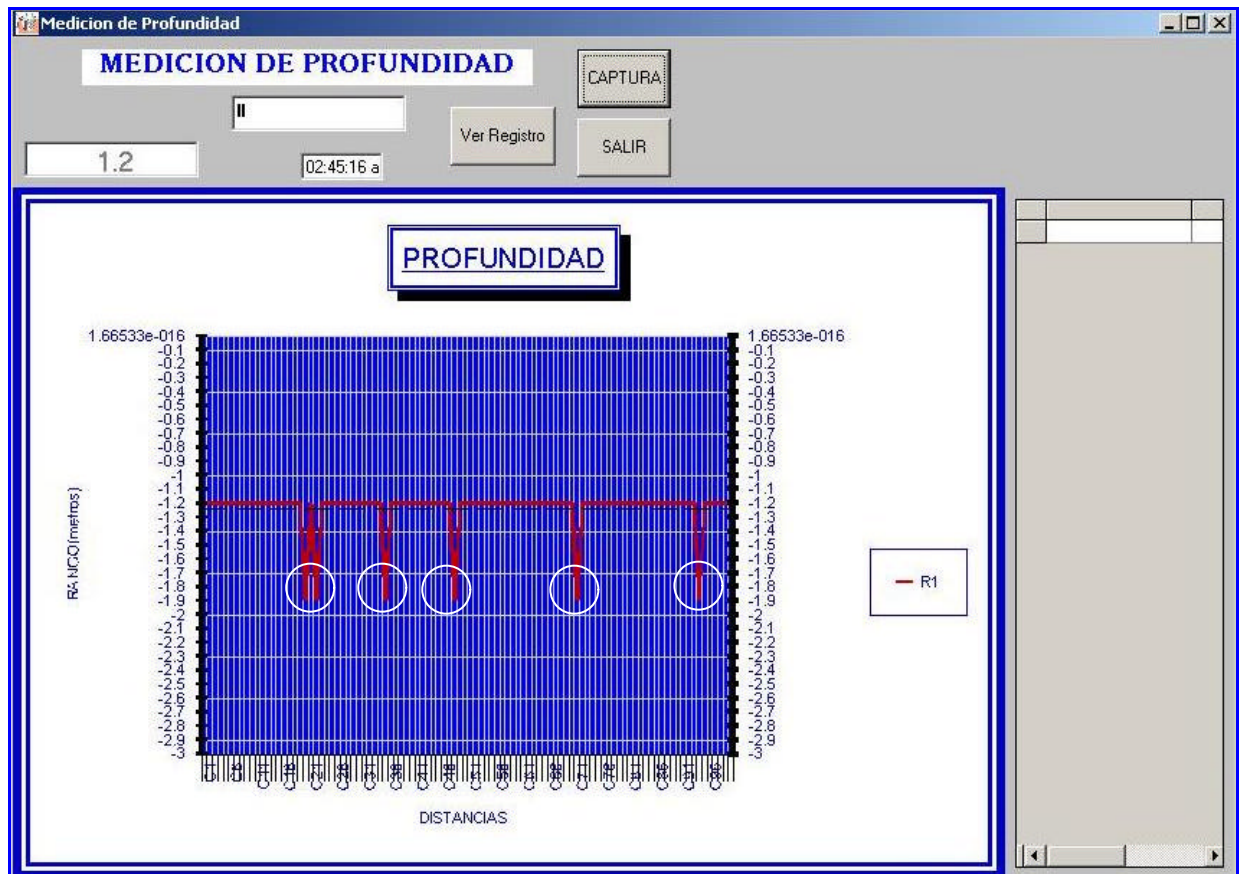


Figura 7.3- muestra la medición para 1.2 metros de profundidad.

La figura nos muestra una línea roja continua que marca la profundidad de 1.2 metros, vemos que también existen valores erróneos (círculos blancos). Estos datos erróneos son producto del ruido que existe en el sistema.

Se mostrarán más medidas, todas estas marcando una profundidad constante.



## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

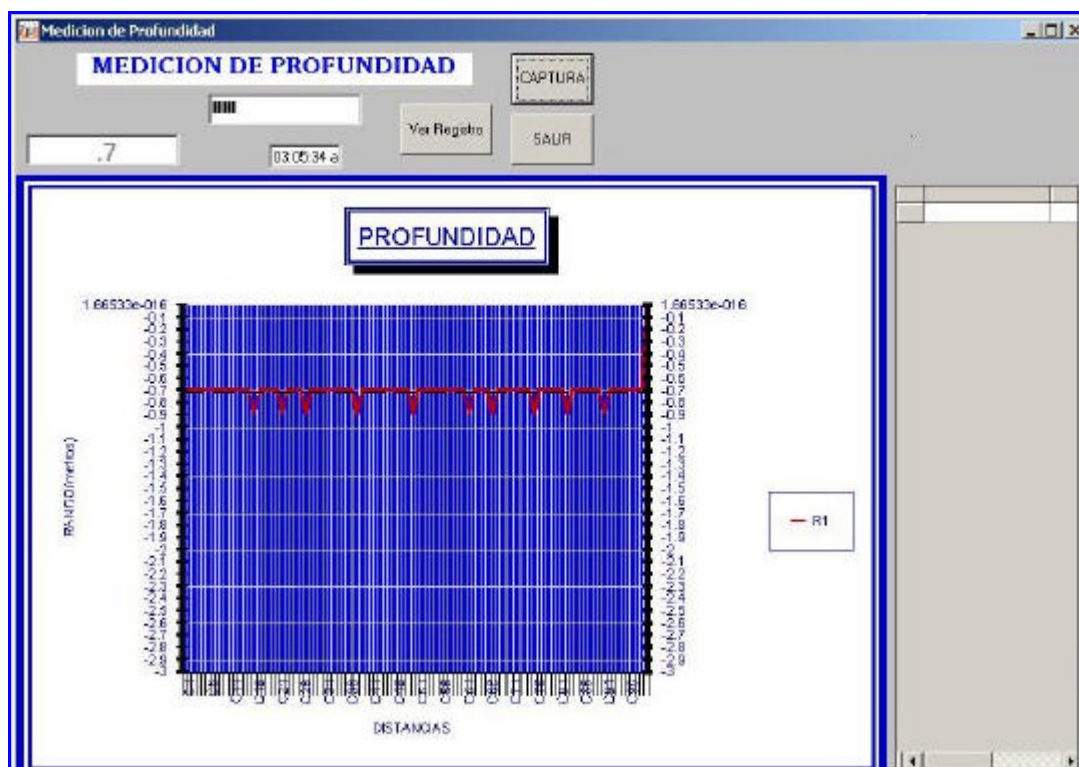


Figura 7.4 muestra la medición para 70 cm. de profundidad con varios errores.

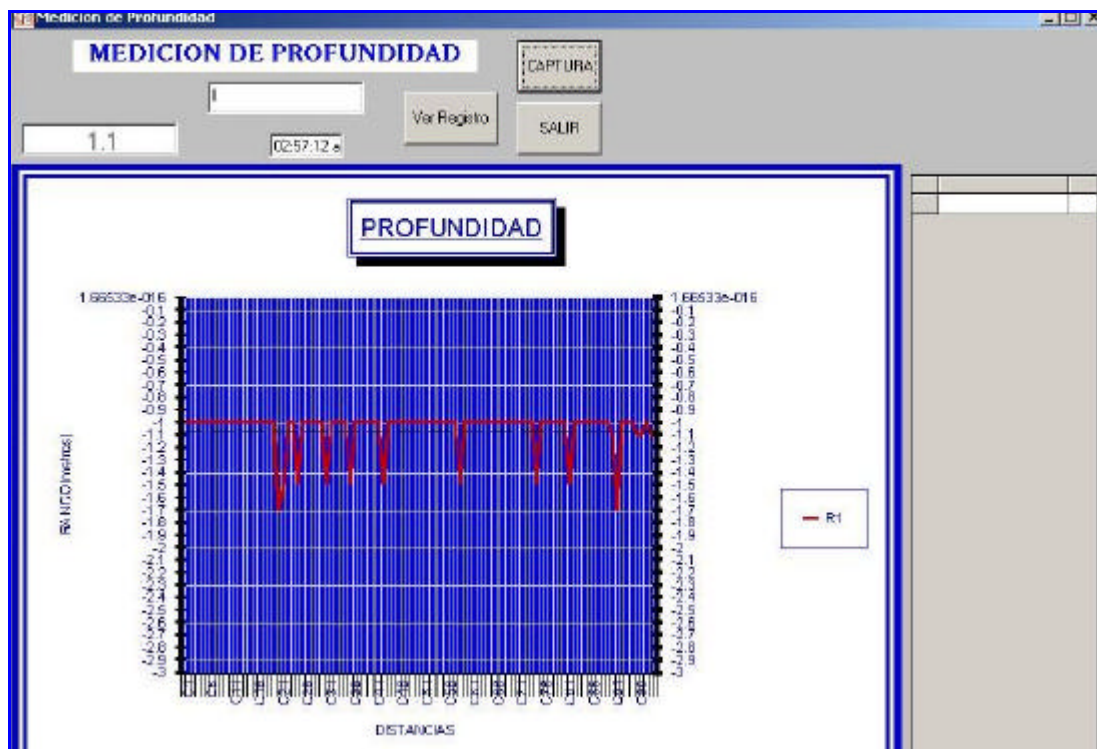


Figura 7.5 muestra la medición para 1 metro de profundidad con varios errores.



## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

Las siguiente medidas que se presentaran son variando la profundidad del transductor del Fish Finder.

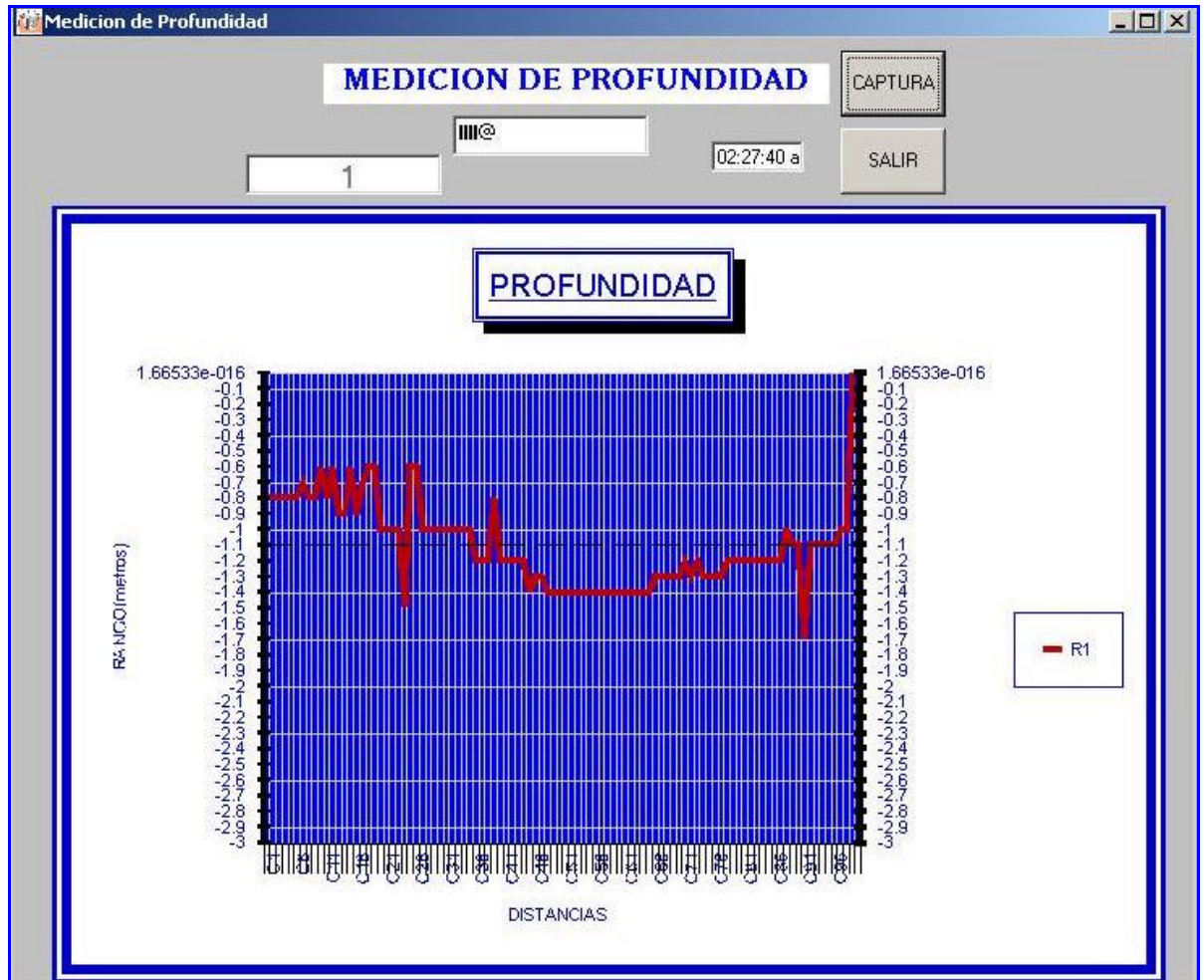


Figura 7.6- muestra la medición para valores desde 0.6m hasta 1.4metros de profundidad los valores que escapan de este rango son errores.

## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

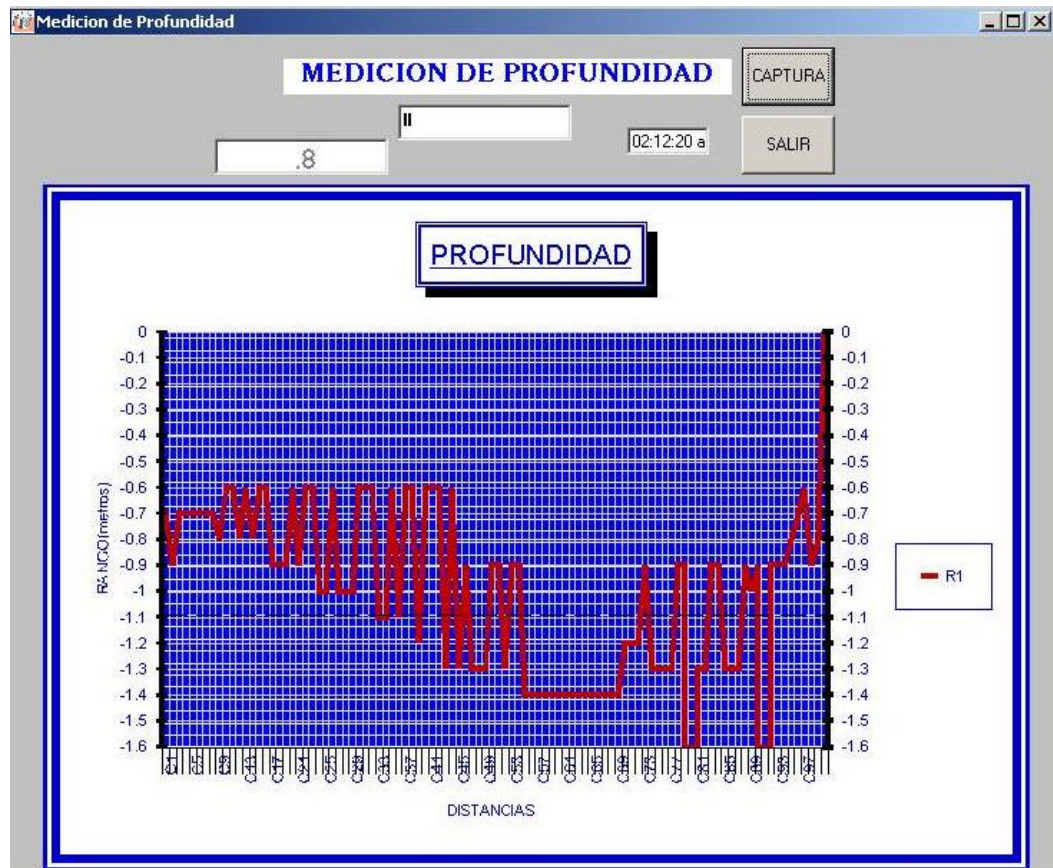


Figura 7.7- muestra la medición para valores desde 0.6m hasta 1.4metros de profundidad al igual que en la figura anterior, los valores que escapan de este rango son errores.

En todas estas figuras se vieron cien muestras de profundidad de los cuales el 10 al 20% eran datos erróneos. Para disminuir estos errores se diseñó un algoritmo de reducción de errores descritos en el capítulo 5.

## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

Las siguiente medición nos muestra la medida de profundidad donde el tiempo de captura de cada muestra esta sincronizado con el circuito del Fish Finder, además posee el algoritmo de reducción de errores descritos en el capítulo 5.

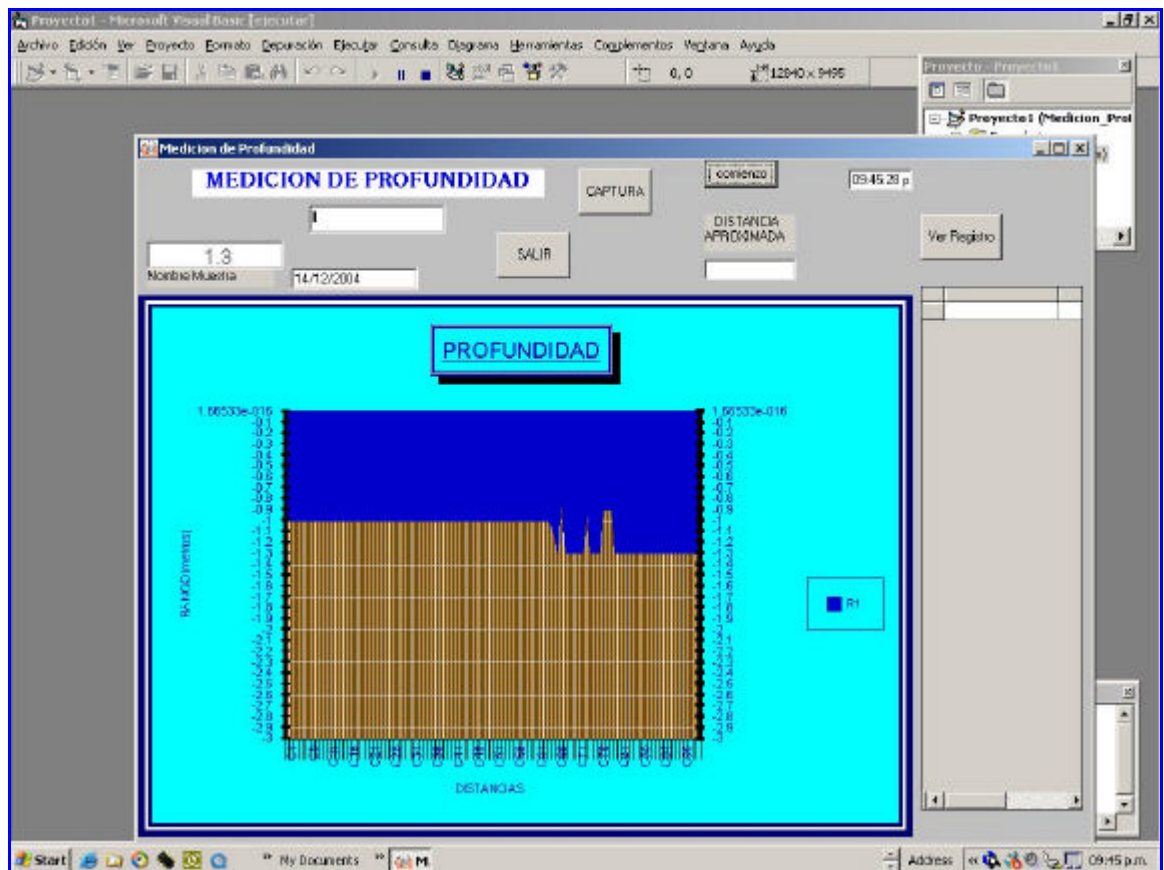


Figura 7.8- muestra la medición para valores variando la profundidad del transductor del Sonar, vemos que los valores mostrados no poseen errores por que no sobrepasan la profundidad máxima del pozo.

## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

MaestroProfundidad : Tabla						
	Id	NameMuestra	Distancia	Profundidad	Fecha	Hora
	539	14/12/2004	57	1	14/12/2004	21:45:07
	540	14/12/2004	58	1	14/12/2004	21:45:08
	541	14/12/2004	59	1	14/12/2004	21:45:08
	542	14/12/2004	60	1	14/12/2004	21:45:08
	543	14/12/2004	61	1	14/12/2004	21:45:09
	544	14/12/2004	62	1	14/12/2004	21:45:09
	545	14/12/2004	63	1	14/12/2004	21:45:10
	546	14/12/2004	64	1	14/12/2004	21:45:11
	547	14/12/2004	65	1.1	14/12/2004	21:45:11
	548	14/12/2004	66	1.3	14/12/2004	21:45:12
	549	14/12/2004	67	0.8	14/12/2004	21:45:12
	550	14/12/2004	68	1.3	14/12/2004	21:45:12
	551	14/12/2004	69	1.3	14/12/2004	21:45:13
	552	14/12/2004	70	1.3	14/12/2004	21:45:13
	553	14/12/2004	71	1.3	14/12/2004	21:45:14
	554	14/12/2004	72	1.3	14/12/2004	21:45:14
	555	14/12/2004	73	0.9	14/12/2004	21:45:14
	556	14/12/2004	74	1.3	14/12/2004	21:45:15
	557	14/12/2004	75	1.3	14/12/2004	21:45:15
	558	14/12/2004	76	1.3	14/12/2004	21:45:15
	559	14/12/2004	77	0.9	14/12/2004	21:45:15
	560	14/12/2004	78	0.9	14/12/2004	21:45:16
	561	14/12/2004	79	0.9	14/12/2004	21:45:16
	562	14/12/2004	80	1.3	14/12/2004	21:45:16
	563	14/12/2004	81	1.3	14/12/2004	21:45:17
	564	14/12/2004	82	1.3	14/12/2004	21:45:17
	565	14/12/2004	83	1.3	14/12/2004	21:45:18
	566	14/12/2004	84	1.3	14/12/2004	21:45:18
	567	14/12/2004	85	1.3	14/12/2004	21:45:18
	568	14/12/2004	86	1.3	14/12/2004	21:45:19
Registro: 1 de 2055						

Figura 7.9- muestra la Base de Datos de la medición de la figura 7.8, podemos observar en el campo Profundidad los valores de estas mediciones, en el campo Hora podemos observar el intervalo entre cada medición.



PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

---

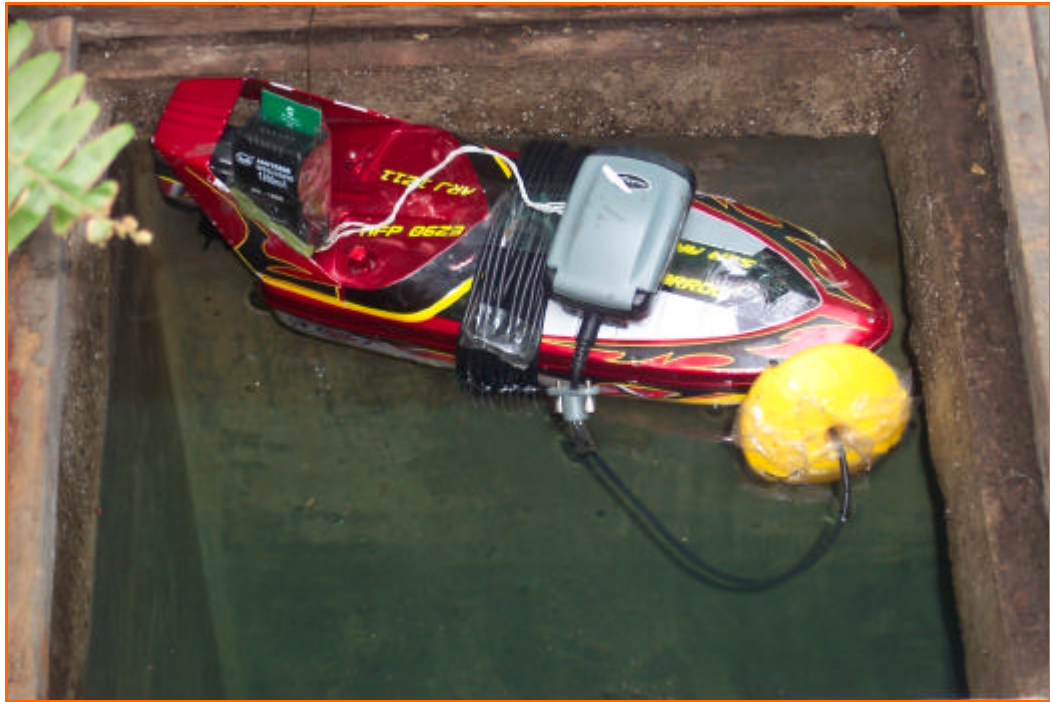
Las siguientes mediciones se hicieron con el sistema montado en el barquito de radio control y nos muestran la medidas de profundidad donde el tiempo de captura de cada muestra está sincronizado con el circuito del Fish Finder, además posee el algoritmo de reducción de errores.



*Figura 7.10- muestra la vista de frente del barquito de radio control con el sistema.*

PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

---



*Figura 7.11- muestra la vista de Lateral del barquito de radio control con el sistema.*

## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

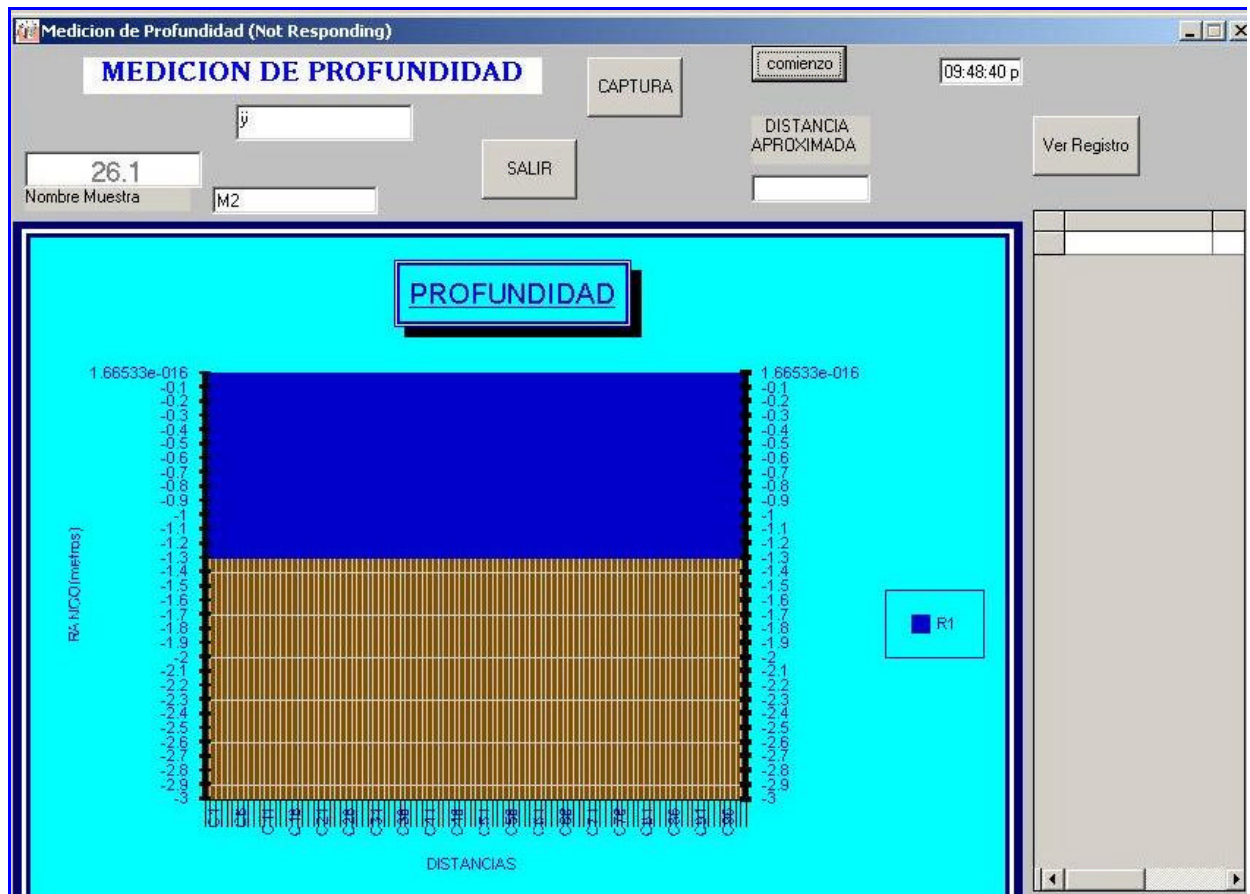


Figura 7.12- muestra la medición de profundidad del barquito en un pozo de agua, la medida exacta debe ser 1.4 metros. El barquito esta en la superficie del pozo y mide 1.3 metros, debido a que el transductor se instalo a 10cm por debajo del barquito.

## PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

MaestroProfundidad : Tabla						
	Id	NameMuestra	Distancia	Profundidad	Fecha	Hora
	583	M2	1	1.3	14/12/2004	21:47:32
	584	M2	2	1.3	14/12/2004	21:47:32
	585	M2	3	1.3	14/12/2004	21:47:33
	586	M2	4	1.3	14/12/2004	21:47:33
	587	M2	5	1.3	14/12/2004	21:47:33
	588	M2	6	1.3	14/12/2004	21:47:34
	589	M2	7	1.3	14/12/2004	21:47:34
	590	M2	8	1.3	14/12/2004	21:47:35
	591	M2	9	1.3	14/12/2004	21:47:35
	592	M2	10	1.3	14/12/2004	21:47:35
	593	M2	11	1.3	14/12/2004	21:47:36
	594	M2	12	1.3	14/12/2004	21:47:36
	595	M2	13	1.3	14/12/2004	21:47:37
	596	M2	14	1.3	14/12/2004	21:47:37
	597	M2	15	1.3	14/12/2004	21:47:38
	598	M2	16	1.3	14/12/2004	21:47:38
	599	M2	17	1.3	14/12/2004	21:47:38
	600	M2	18	1.3	14/12/2004	21:47:39
	601	M2	19	1.3	14/12/2004	21:47:39
	602	M2	20	1.3	14/12/2004	21:47:39
	603	M2	21	1.3	14/12/2004	21:47:40
	604	M2	22	1.3	14/12/2004	21:47:40
	605	M2	23	1.3	14/12/2004	21:47:40
	606	M2	24	1.3	14/12/2004	21:47:41
	607	M2	25	1.3	14/12/2004	21:47:41
	608	M2	26	1.3	14/12/2004	21:47:41
	609	M2	27	1.3	14/12/2004	21:47:42
	610	M2	28	1.3	14/12/2004	21:47:42
	611	M2	29	1.3	14/12/2004	21:47:42
	612	M2	30	1.3	14/12/2004	21:47:43

*Figura 7.13- muestra la Base de Datos de la medición de la figura 7.12, podemos observar en el campo Profundidad los valores de estas mediciones son todas 1.3 metros, en el campo Hora podemos observar el intervalo entre cada medición.*



## 7.2- CONCLUSIONES

Se llegó a implementar y probar el sistema de telemetría digital el cual nos permitió medir la profundidad en pozos y piscinas. Los resultados de estas mediciones fueron satisfactorios debiendo ser probados finalmente en ríos y lagos.

Se estudió y experimentó un transductor piezoeléctrico debido a su bajo costo para la medición de profundidad pudiendo demostrar la propagación del sonido en el agua en condiciones ideales: sin turbulencias ni corrientes de agua.

Se estudió y aplicó microcontroladores de 8 bits de bajo costo y consumo para la adquisición y transmisión de las mediciones de profundidad a la computadora. La programación de estos microcontroladores se hizo en lenguaje ensamblador de Microchip, llegándose a utilizar los siguientes recursos: temporizadores, puertos, osciladores internos y el transmisor UHF. El uso del microcontrolador con transmisor integrado nos permite reducir espacio en placa y el ruido.

Se llegó a aplicar la modulación ASK visto en el curso de Sistemas de Comunicación Digital. Se utilizó este tipo de modulación debido a que no se requirió grandes transferencias de datos ni grandes distancias. Además que en las zonas donde se harán estas mediciones poseen menor interferencia. Si se quisiera cubrir mayores distancias se debe aumentar la potencia en el transmisor o variar las ganancias de las antenas, especialmente de la antena receptora.

Se desarrolló una aplicación en un entorno gráfico y amigable para el usuario en el cual representamos las variables físicas del sistema de medición de profundidad.

Con este sistema de telemetría digital se está proponiendo una diferente forma de obtener la sección transversal de reservorios, ríos y lagos, de manera rápida, segura y de bajo costo, promoviendo de esta manera el desarrollo tecnológico en nuestro país.

El costo involucrado en el desarrollo del equipamiento electrónico del sistema de telemetría digital es de 400 dólares americanos ver **anexo 6**.

PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES

---

La Universidad debería establecer los contactos con las entidades públicas y privadas para realizar las pruebas y modificaciones en el sistema de telemetría digital de tal forma que pueda ser homologado y ser utilizado como un producto comercial, con lo cual estamos demostrando que en el Perú se puede diseñar y construir equipos de telemetría no solo para medir profundidad si no para todas aquellas aplicaciones donde se tenga un difícil acceso y se requiera transmitir información de manera inalámbrica.

Esperamos que el presente trabajo de investigación sirva como fuente de información para futuros proyectos relacionados con la telemetría.

---

# BIBLIOGRAFÍA

---

- RFPIC12f675 Datasheet, [www.microchip.com](http://www.microchip.com), Octubre 2003
- RXD0420 Datasheet. [www.microchip.com](http://www.microchip.com), Octubre 2003
- Piezoelectric transducer design, Aimar Technology Corporation, 2000
- Microcontroladores Pic, Angulo Usategui, José María y Angulo Martínez, Ignacio, McGraw-Hill, Diciembre 2000
- Calculation of Matching Networks for Saw Filters, Siemens Matsushita Components, 1999
- Aprenda Visual Basic 6.0 Ya, Halvorson, Michael, McGraw-Hill, 1999
- Electrónica Industrial Moderna, Timothy Maloney, Prentice, Tomasi, Prentice Hall Hispanoamericana 1997
- Principles of Underwater Sound, Robert J. Urick, 1996
- Comunicaciones digitales, Tomasi, Prentice Hall Hispanoamericana, 1996

---

# ANEXO 1

---

## HOJA DE TRABAJO PARA LA PLANIFICACION DE LA FRECUENCIA EN EL RECEPTOR RFRXD0420

Paso 1: Identificar la frecuencia de recepción ( $F_{rf}$ ) y a la frecuencia intermedia ( $F_{if}$ )

$F_{rf} =$  \_\_\_\_\_

$F_{if} =$  \_\_\_\_\_

Paso 2: Calcular la frecuencia del cristal para una baja inyección.

$$F_{xtal} = \frac{(F_{rf} - F_{if})}{PLL(divisor)}$$

El divisor del PLL es de 16.

Paso 3: Calcular la frecuencia del oscilador local frecuencia ( $F_{io}$ )

$$F_{io} = F_{xtal} \times PLL(divisor)$$

Paso 4: Calcular la frecuencia imagen ( $F_{rf-imagen}$ )

$$F_{rf-imagen} = F_{rf} - (2 \times F_{if})$$

Esta frecuencia imagen debe ser filtrada por un preselector para la aplicación.

---

## ANEXO 2

---

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FISH FINDER**

- Lectura de profundidades desde 3 pies hasta 120 pies
- Sensor flotante con 35 pies de cable
- Tamaño de la unidad de 1.5" del x 2.8" del x 4.3", tamaño de la exhibición de 1.5" del x 1.8"
- Frecuencia del Sonar de 200 KHz
- Angulo del Sonar de 20 grados

Más detalles en <http://www.norcrossmarine.com/ff3300manual.pdf>

## ANEXO 3

### DETECTOR DE TONOS

Un detector de tonos posee internamente un PLL (Phase Locked Loop) y un detector de fase en cuadratura el cual responde con un nivel lógico bajo cuando la señal de entrada al integrado coincide con la frecuencia central de enganche del PLL.

En la figura siguiente puede observarse la respuesta del circuito detector de tonos.

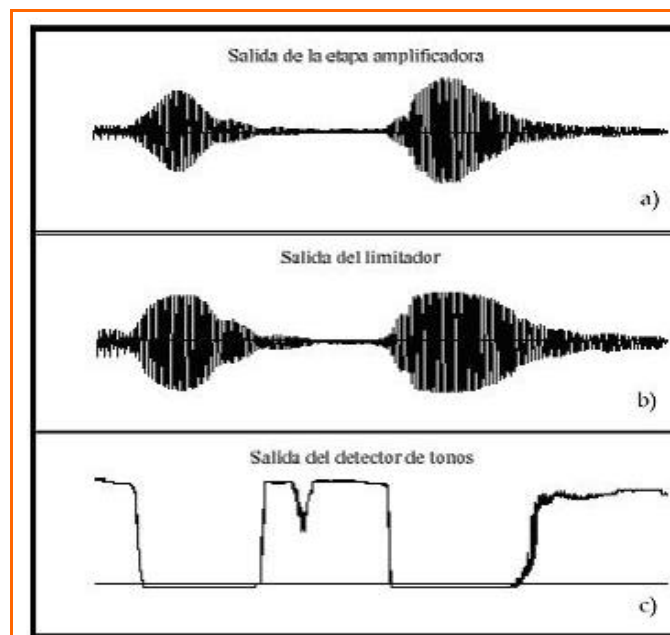


Figura 1.A- muestra la respuesta del detector de tonos a) señal de entrada.

b) salida del limitador. C) respuesta del detector de tonos

---

## ANEXO 4

---

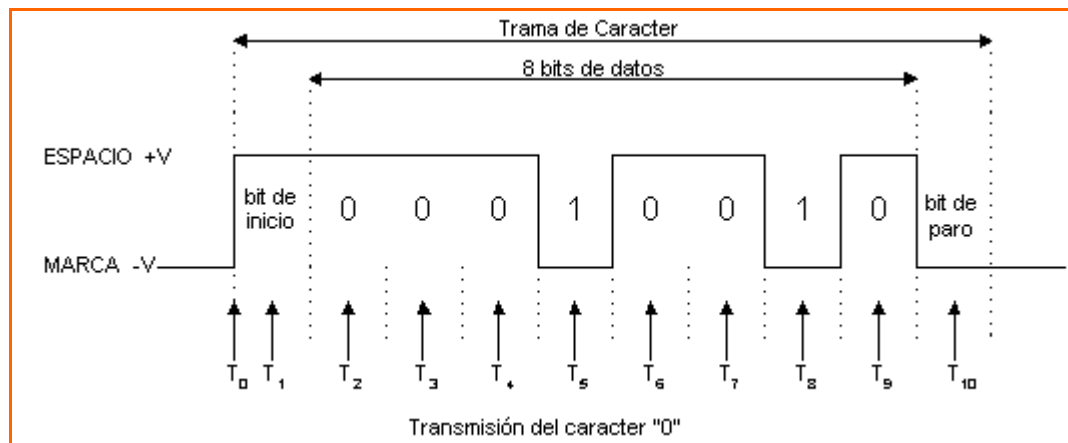
### EL ESTANDAR RS232

La velocidad a la que se envían datos en forma serial a través de una línea de comunicación, se denomina velocidad en baudios. La velocidad de baudios es expresada en unidades de bits por segundo. Una conexión RS-232 con velocidad de 1200 baudios tiene la capacidad de enviar 1200 bits de datos en 1 segundo.

Si se pueden enviar 1200 bits en un segundo, como máximo, el inverso de 1200 dará como resultado el tiempo de bit (período de un bit).

$$\frac{1}{(\text{Velocidad de baudios})} = \text{tiempo de bit} = \frac{1}{1200} = 833 \mu s$$

En la Figura 2.A se muestran los niveles de voltaje con el estándar RS-232, cuando se transmite un "0" ASCII, observe que después del bit de inicio se envía el bit menos significativo (LSB) del dato.



*Figura 2.A- muestra los niveles RS232.*

T0: La transición del nivel marca a espacio indica al receptor que la transmisión de un nuevo carácter ha comenzado.

T1: El receptor espera la mitad del tiempo de bit (a 1200 baudios este tiempo es 416us) y toma otra muestra de la línea. Si la línea sigue en el nivel espacio, el bit de inicio es valido. En otro caso, si la línea de recepción regresa al nivel de marca, se trata de un bit de inicio falso que se atribuye a una línea ruidosa.

T2: El receptor espera un tiempo de bit y muestrea la línea de entrada, el nivel será el correspondiente al bit menos significativo.

T3-T9: Se realizan 7 muestreos más, cada 833us (para 1200 baudios), y se obtienen los niveles correspondientes a los bits de datos restantes. Después de T9 los 8 bits de datos han sido capturados.

T10: Se muestrea el bit de paro, observe que la línea regresa al nivel de marca.



---

## ANEXO 5

---

### EL CONTROL PERSONALIZADO MICROSOFT COMM

Este control permite la comunicación de una aplicación VB con el puerto serie. El control MSComm no está normalmente en la caja de herramientas, por lo que será necesario introducirlo mediante Proyecto | Componentes. En el formulario solamente se le ve en tiempo de diseño. El icono que lo representa en la caja de herramientas coincide con el que presenta en el formulario:



Al tratarse de un control personalizado, presenta dos formas de ver las propiedades. Si hacemos click con el botón derecho del ratón sobre el control y vamos a propiedades, nos presenta tres cuadros de configuración de los típicos de los controles personalizados. Si seleccionamos el control MSComm y pulsamos F4, aparecerá la caja de propiedades típica de los controles VB.

**PROPIEDADES:** Existen propiedades que pueden establecerse en tiempo de diseño o en tiempo de ejecución, y otras que solamente se pueden ejecutar o consultar solamente en tiempo de ejecución. Se detallan a continuación las primeras. Las segundas se enumerarán tras estas, aunque se nombran algunas de estas últimas al explicar cada una de las propiedades del primer tipo.

**CommPort:** Indica el número del puerto serie usado. Admite los valores de 1 a 255. Cambiando esa propiedad podemos cambiar el puerto de comunicación que vamos a usar (Un PC tiene normalmente 2 puertos serie : El Com1 y el Com2. Puede tener sin grandes problemas Hardware hasta 4 (Com3 y Com4) Si le damos a ese valor un número de puerto inexistente, dará error.

### Settings

Sintaxis      Velocidad, Paridad, Bits de información, Bits parada

Indica la velocidad, paridad, número de bits y bits de stop (parada) que se van a usar en la comunicación.

Los valores posibles para velocidad son: Indica la velocidad en baudios.

50    100    110    300    600    1200    2400    4800    9600    14400    19200    y  
28800

Los valores posibles para paridad son:

N - No envía bit de paridad ni hace comprobación de paridad en la recepción.

O - Envía y comprueba paridad, con el criterio de paridad IMPAR

E - Envía y comprueba paridad, con criterio de paridad PAR

Los valores para el parámetro Bits de Información pueden ser:

7 - Se envían / reciben 7 bits por trama de información.

8 - Se envían / reciben 8 bits por trama de información

5 - Se envían / reciben 5 bits por trama de información. Este valor de 5 bits es el típico del sistema Baudot para transmisión telegráfica (Teletipos) que se ha conservado en las comunicaciones informáticas por pura tradición. Si se eligen 5 bits, los bits de parada se ponen automáticamente a 1,5 (Típico también del sistema Baudot.)

Los valores para el parámetro Bits de parada pueden ser:

- 1 - Se envía un bit de parada
- 2 - Se envían 2 bits de parada

(No es posible programar 1,5 bits de parada. Sólo lo hace cuando se programan 5 bits de información y lo hace automáticamente).

A continuación describimos las propiedades propias del tiempo de ejecución:

**PortOpen:** Abre el puerto de comunicación. Puede tener los valores True (Para abrirlo) y False (Para cerrarlo) Si tenemos un MSComm con Nombre (Name) MSComm1, para abrirlo ejecutaremos la siguiente sentencia:

*MSComm1.PortOpen = True*

Para cerrarlo, ejecutaremos

*MSComm1.PortOpen = False*

**InBufferCount:** Nos permite averiguar cuantos caracteres tenemos en el Buffer de entrada. Con el mismo MSComm anterior, comprobaremos el número de caracteres sin leer con la sentencia:

*caracteressinleer = MSComm1.InBufferCount*

**OutBufferCount:** Nos permite conocer cuantos caracteres quedan por transmitir en el Buffer de salida. Emplearemos la sentencia :

*caracteressinenviar = MSComm1.OutBufferCount*

**Output:** Envía caracteres al Buffer de salida. Debe existir un signo igual ( = ) entre Output y lo que se envía al Buffer. Para enviar la frase Curso de Visual Basic ejecutaremos la sentencia:

*MSComm1.Output = "bit salida"*

Si deseamos enviar el contenido de una variable

*MSComm1.Output = variable*

**Input:** Lee el Buffer de recepción. El número de caracteres leídos dependerá del valor de la propiedad InputLen. Cuando la propiedad InputLen tiene el valor 0, el Buffer se lee completo. Si InputLen tiene un valor distinto de 0, se leerá un número de caracteres igual al valor de esta propiedad.

**CommEvent:** Devuelve el evento mas reciente que ha ocurrido para generar el evento general OnComm (Vea mas adelante). Esta propiedad no está disponible en tiempo de diseño y es de sólo lectura en tiempo de ejecución.

Sintaxis                      *NombredelMSComm.CommEvent*

## ANEXO 6

### COSTO DEL EQUIPO DISEÑADO

La siguiente tabla muestra el costo del equipamiento electrónico del sistema de telemetría digital para medir la profundidad.

Componentes del Sistema de Telemetría Digital	Costos en dólares americanos puestos en el Perú.
Barquito de Radio Control Tyco R/C Sea Arrow 27/40 MHz	\$150
Fish Finder modelo FF3300P	\$130
Módulo Comercial del Transmisor de 433.92 MHz de la empresa Microchip	\$60
Módulo Comercial del Receptor de 433.92 MHz de la empresa Microchip	\$50
Interfaz para la computadora (Placa impresa, PIC12F675, MAX232, 6 condensadores)	\$10
Total del costo del equipo	\$400

*Tabla 1.A- muestra el costo del equipo de telemetría digital.*

## ANEXO 7

### PROGRAMAS

#### PROGRAMA SONAR12DIC\_TX.ASM

```
list    p=RF675F      ; list directive to define processor
        #include <RF675F.inc>      ; processor specific variable definitions

        errorlevel -302      ; suppress message 302 from list file

CONTA1  EQU 0x29
CONTA3  EQU 0x2B
PDeI0   EQU 0x20
PDeI01  EQU 0x27
PDeI1   EQU 0x28
PDeI011 EQU 0x21
PDeI111 EQU 0x22

org 0x00
goto inicio_1
org 0x05
inicio_1
bcf STATUS,5
clrf GPIO
movlw 07h ; todos digitales
movwf CMCON
bsf STATUS,5
movlw b'10000000' ;Calibracion maxima para el oscilador interno
movwf OSCCAL ;Frecuecia RC
bsf STATUS,5
clrf ANSEL ;todos los pines digitales
movlw b'00001011' ;GP0,GP1,GP3 entrada, GP2 GP4,GP5 salidas
movwf TRISIO
bcf STATUS,5
INICIO
clrf GPIO
clrf CONTA1
bcf GPIO,2
SENAL btfss GPIO,0 ; se detecta la señal de 200KHz
goto SENAL
call DEMORA
call DEMORA
call DEMORA
call DEMORA
call DEMORA
```

## ANEXOS

```

;-----
DEMORA2 movlw .249 ; 1 set numero de repeticion
        movwf PDeI0 ; 1 |
PLoop02 nop ; 1 clear watchdog
PDeLL12 goto PDeLL22 ; 2 ciclos delay
PDeLL22 goto PDeLL32 ; 2 ciclos delay
PDeLL32
        decfsz PDeI0, 1 ; 1 + (1) es el tiempo 0 ?
        goto PLoop02 ; 2 no, loop
PDeLL42 goto PDeLL52 ; 2 ciclos delay
PDeLL52 nop ; 1 ciclo delay
        return ; 2+2 Fin.
;-----

```

End

## PROGRAMA SONAR12DIC\_RX.ASM

```

list    p=12f675 ; list directive to define processor
#include <p12f675.inc> ; processor specific variable definitions

        errorlevel -302 ; message 302 from list file

CONTA0 EQU 0x29
CONTA1 EQU 0x2A
CONTA3 EQU 0x2B
PDeI0 EQU 0x20
PDeI01 EQU 0x27
PDeI1 EQU 0x28
CONTA4 EQU 0x21
DATA1 EQU 0x22
DATA2 EQU 0x23
DATA3 EQU 0x24
DATA4 EQU 0x25
DATA5 EQU 0x26
RS232 EQU 0x2C
org 0x00
goto inicio_1
org 0x05
inicio_1
bcf STATUS,5
clrf GPIO
movlw 07h ; todos digitales
movwf CMCON
bsf STATUS,5
movlw b'10000000' ;Calibracion maxima para el oscilador interno
movwf OSCCAL ;Frecuecia RC
bsf STATUS,5
clrf ANSEL ;todos los pines digitales
movlw b'00101011' ;GP0,GP1,GP3,gp5 entrada, GP2 GP4 salidas
movwf TRISIO
bcf STATUS,5
TRAMA1
bsf GPIO,2 ;sacamos 1 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;PRIMER TRAMA
clrf CONTA4
INICIO1 btfss GPIO,0 ;1er chequeo 0
goto INICIO1
incf CONTA4
call DEMORA
movf CONTA4,0
xorlw .23
btfss STATUS,2
goto INICIO1
movlw .8
movwf CONTA3
call DEMORA
call DEMORA9600
;-----

```

## ANEXOS

```

DEMORA movlw .61 ; 1 set numero de repeticion
        movwf PDeI0 ; 1 |
PLoop02 clrwdt ; 1 clear watchdog
        decfsz PDeI0, 1 ; 1 + (1) es el tiempo 0 ?
        goto PLoop02 ; 2 no, loop
        clrwdt ; 1 ciclo delay
        return ; 2+2 Fin.
;-----
End

```

## PROGRAMA MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

```

Public ix As Integer
Public vini As Integer
Public DIS As Integer

```

```

Private Sub Command2_Click()
    Dim cn As ADODB.Connection
    Dim prm As ADODB.Parameter
    Dim cmd As ADODB.Command
    Dim rs As ADODB.Recordset

```

```

Set cn = New ADODB.Connection
cn.CursorLocation = adUseClient
cn.Open "File Name=D:\Visual Basic\data\Conexion1.udl"

```

```

Set cmd = New ADODB.Command
cmd.ActiveConnection = cn

```

```

'Comandos Directos
cmd.CommandText = "SELECT * FROM MaestroProfundidad WHERE NameMuestra='" & Text5.Text & "'"
cmd.CommandType = adCmdText
'cmd.Execute

```

```

' Cuando se envia parametros a un Store Procedure
'cmd.CommandText = "sp_sel_Distritos_FDpto"
'cmd.CommandType = adCmdStoredProc

```

```

' Set prm = New ADODB.Parameter
' Set prm = cmd.CreateParameter("@txtUbigeo", adChar, adParamInput, 2)
' prm.Value = txtUbigeo
' cmd.Parameters.Append prm

```

```

'Ejecuta el SQL y envia los registros aun Recordset
Set rs = New ADODB.Recordset
Set rs = cmd.Execute

```

```

Set DataGrid1.DataSource = rs

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
    For i = 1 To DIS
        MSChart1.Column = i
        MSChart1.Data = 0
    Next
    vini = 0
End Sub

```

```

Private Sub HOLAS_Click()

```

```

End Sub

```



---

```

Private Sub Text3_Change()

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
If vini = 1 Then
    Dim cadena          'Declaracion de Variables'
    Dim tiempo
    Comm1.PortOpen = True 'Abrir el puerto '
    Comm1.Output = "1"   'comando de atencion'
    Comm1.InBufferCount = 0 'borrar el búfer de recepción'
    tiempo = 0
    Do
        If Comm1.InBufferCount Then
            cadena = Comm1.Input
            dummy = DoEvents()
            Text1.Text = ""
        If IsNull(cadena) = True Or cadena = "" Then

            Else
Exit Do
            Else
                ix = ix + 1
                MSChart1.Column = ix
                MSChart1.ColumnCount = DIS
                Call Grabadata(ix, CDb1(Text1.Text))
            End If
        End If
    End If
    Loop
    Comm1.PortOpen = False

End If

End Sub
Sub Grabadata(d As Integer, p As Double)

Dim cn As ADODB.Connection
Dim prm As ADODB.Parameter
txtNombreMuestra = Text5.Text
Set cn = New ADODB.Connection
cmd.ActiveConnection = cn
'Comandos Directos
cmd.CommandText = "INSERT INTO MaestroProfundidad(NameMuestra,Distancia,Profundidad) Values (" & txtNombreMuestra
& "," & d & "," & p & ")"
cmd.CommandType = adCmdText
cmd.Execute
End Sub

```